液态金属新工业的演化与投融资协同发展机制研究

刘逸凡
中国科学院大学经济与管理学院，北京市海淀区中关村南一条 3 号，邮编：100190
E-mail：liuyifan211@mails.ucas.ac.cn

摘要

常温液态金属是本世纪初发端成型于中国，并迅速在全球成为重大热点与前沿的战略性新兴科技产业领域，从北京中关村的基础探索，到云南液态金属产业集群的形成和发展乃至全国范围的协同推进，正在催生出一个全新的工业体系，影响广泛而深远。液态金属在变革尖端芯片冷却、电子制造、能源热控、生物医疗、柔性机器人等核心领域上有着巨大潜力，随着先期产品逐步导入市场，产业范畴得以快速拓展。从液态金属工业早期策源、创建与发展壮大过程可以看出，这种从 0 到 1 型前沿产业的孕育及演化有其内在规律。由于新工业一开始出现时体量弱小，缺乏社会重视和投资者青睐，往往并不萌生于传统行业占据主导地位的原有市场和产业中心，而更可能诞生于适合其生存乃至生根开花的新区域，如历史上位于美国加州的硅谷与当前地处中国云南的液态金属谷正是如此。创建和培育这类非传统型产业需要社会全系统的联动，一方面这是因为新生业态总会面临着人力、物力、财力、资源与成长孵化的矛盾，导致研发布局、企业成长、产品导入与市场营收等相互脱节；另一方面，大量社会资本却对即将爆发的新工业缺乏正确了解和研判，以至可能错失最佳投资与收益机遇。可以说，创建新工业天然面临的挑战与矛盾集中反映到产业成长与投融资之间的错位上。为助力液态金属新工业全产业链高效构建及可持续健康发展，本文在简要介绍该领域若干颠覆性技术应用特点的基础上，着力探讨作为行业增量型的液态金属产业在不同时期的演化规律、投融资机制与收益回报协同问题，剖析不同阶段液态金属企业成长范式；提出通过产业集群发展模式对冲投资风险与成本继而实现全行业指数增长的措施，并建立数学模型刻画产业集群投融资全域的净收益问题，指出对于液态金属这种创新型新兴科技企业而言，虽然局部投融资会存在低效甚至失败的可能，但对于整个社会以及全周期投资者来说没有输家；论文进一步指出，对同质化企业加以投资存在社会浪费和低效率困境，因此识别引领性企业并予以合理引导和投资可加速产业进步；最后解读了部分典型投资案例，规划了若干新产业发展路径。本文工作对于液态金属新工业的构筑及其可持续发展具有一定指导意义。

关键词： 液态金属；新工业；演化；投融资；增量型企业；产业集群；
从 0 到 1；协同机制；发展路径。

Study on the Evolution of Liquid Metal New Industry and Its Synergetic Development Mechanism with Investment and Financing

Yi-Fan Liu

School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, No. 3, Zhongguancun Nanyitiao, Haidian District, Beijing 100190

E-mail: liuyifan211@mails.ucas.ac.cn

Abstract

The normal temperature liquid metal is an emerging science and technology field that incubated in China in the early of this century and has rapidly become a major hotspot and frontier over the world. Starting from the fundamental exploration in Zhongguancun, Beijing, to the gradual formation and development of the industrial cluster in Yunnan Liquid Metal Valley and even the nationwide synergistic follow-up activities, a new industrial system is emerging, which is expected to will generate a rather broad and far-reaching impact. Liquid metal has great potential in reforming diverse core cutting edge fields such as chip cooling, electronic manufacturing, advanced energy and thermal control, biomedicine, and soft robots, etc. With the introduction of early products into the market, its industry scope has been rapidly expanded. It can be seen from the incubation, establishment and growth process of liquid metal industry in the early stage that the breeding and evolution of such industries with features from 0 to 1 has its inherent laws. Generally, since the emergence of new industries was very small in magnitude at the beginning, lacking social attention and investors' favor, they often did not sprout from the original market and industrial center dominated by traditional industries, but were born in new regions more suitable for their survival and even take root, such as the U.S. Silicon Valley in California in history and China's Liquid Metal Valley currently located in Yunnan. The creation and cultivation of such non-traditional industries need the coordination and mutual assistance of the whole social system. On the one hand, this is because the new business always faces the contradiction between manpower, material resources, financial support, economics and growth incubation, which leads to the disjunction between R&D layout, enterprise acceleration, product practice and market revenue; On the other hand, a large amount of social capital lacks correct understanding and research on the new industry that is about to erupt, so it may miss the best investment and income opportunities. The challenges faced by the creation of new industries are mainly reflected in the dislocation between industrial cultivation and investment and financing. In order to facilitate the efficient construction and sustainable and healthy development of the whole industrial chain of the new liquid metal industry, the present article, based on a brief digestion of the application characteristics of several disruptive new technologies in the field,

focuses on interpreting the evolution trend of the liquid metal industry via an incremental way in the whole periods, the synergy mechanisms of investment, financing and returns, and evaluates the growth paradigms of liquid metal enterprises in different stages. Then we put forward measures to hedge investment risks and costs through the development mode of industrial clusters, and then realize the exponential growth of the whole industry. Through the established mathematical model, we characterized the problem of the net income of the whole industry cluster investment and financing. It is clarified that for liquid metal innovative technology enterprises, although some investment and financing might be inefficient or even fail, there is no loser for the entire society and investors throughout the complete cycle. At the same time, the article points out that, there may have social waste and low efficiency difficulties regarding investing on homogeneous enterprises. As an alternative, identifying leading enterprises and giving reasonable guidance and investment can boost the industry. Finally, some typical investment cases are illustrated, several new industrial development paths are planned. The present article is expected to have guiding value for the construction and sustainable development of the new industry of liquid metals.

Keywords: Liquid metal; New industry; Evolution; Investment and financing; Incremental enterprises; Industrial clusters; From 0 to 1; Synergy mechanism; Development path.

目录

1 背景

改革开放以来，中国经济经过几十年的飞速发展，取得了重大的历史性成就，但与此同时，在迈向新的跨越阶段时，已有的产业结构逐步遭遇瓶颈，日益面临着结构性改革的迫切需求[1]。近年来，科创板、北交所的设立以及一系列针对科技企业的产业政策的出台，昭示着我国大力发展实体经济和高端制造业的决心。从当今发展态势看，中国已逐步涌现出一批达到世界前沿水平的企业，它们正在成为若干新领域的领导者[2]。这些态势表明，中国在复兴之路上正在回归其历史上数千年来在世界范围的核心科技地位。然而，“两个一百年”的目标任重而道

远[3]。中国共产党第二十次全国代表大会报告指出：高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务[4]。这份报告首次将科技工作作为专章阐述，着重突出创新在我国现代化建设全局中的核心地位，再次强调创新驱动发展战略在宏观经济建设中的重要地位。

按照中国式现代化的发展脉络，在接下来的工业化道路上，需要有不少变革性的科技和产业由中国所开创、倡导和发展壮大，进而对全球做出底层贡献。无疑，对于志在成为产业强国、科技强国的国家和地区，适时研判重大工业发展方向并在其成长初期予以主动布局和助推显得至关重要。当前，我国正在迎来一系列新的跨越机遇。在众多新兴行业中，本世纪初发端于中国并得以快速成长的液态金属科技产业尤为独树一帜[5]，这是因为大量的早期基础探索、工业化酝酿培育乃至一大批崭新技术和产品的研发和应用均由中国率先完成，由于这一领域涉及到几乎所有的自然科学与工程技术领域，影响面极其广泛，带动了一系列新技术体系、新应用领域、新发展模式的创建和发展，特别值得重视。本文所要探讨的，正是这一触及新兴行业发展关键的产业塑造和投融资问题。

我们知道，国内外新兴科技企业在成长的过程中，一般存在两类模式，即采用以渐进式创新为主的“存量”发展模式，以及通过激进式创新为主的“增量”发展模式[6]。然而，由于历史的原因，我国前期的不少科技产业采取的是“存量”发展模式，即延续先行国家业已获得商业成功的科技成果并加以部分改进后转化成产品[7]。这种在存量基础上自创国有品牌的产业发展模式的好处在于：1. 有成功实践经验可借鉴，创新成本更低，风险更加可控[8]；2. 存在着科技属性带来的想象空间，能帮助创造高额收益。因此，采取“存量”发展模式的科技产业普遍受到许多私人投资者的青睐。从产业层面来说，该类企业能够充分运用后发优势、促进产业升级[9]，且技术源头国家的实践已证明其重要战略意义，因而易于得到政府资金和政策的支持。然而，采取“存量”发展模式的科技产业毕竟与大量同类型外国企业处于同一赛道，过度地采用模仿国外技术的方法进行创新面临着知识产权购买成本高、竞争压力大、差异化不足等问题[10]。此外，后发优势企业虽然能够在较低成本基础上助力部分科技产业快速达到一流水平，但不可避免天然存在的技术瓶颈与技术输出国采取保护手段等困境，会导致此类企业发展中后期存在创新不足的痛点，如当前芯片高端光刻机的生产、制造和应用正是如此。

与“存量”模式企业相对的是像液态金属新兴科技产业这样的“增量”发展模式，即完全依托于本土研发技术实现从 0 到 1 的创新。相应企业善于勇闯无人区，乐于尝试构建前所未有的科技产业形态，其技术核心完全自主化，且在各自领域处于世界源头地位。采取“增量”发展模式的新兴科技产业，往往具有世界领先的技术和广泛的应用场景、面临着全新的蓝海市场、存在更大的利润上限。然而，由于缺乏先例可循，作为新兴产业代表的液态金属新兴科技难以直接套用

其他产业的成功经验，相应企业面临风险不可控、技术价值难以准确估量的问题，导致投资者对其持观望态度，一开始总会受到一定限制[11]。就像苹果公司一样，采取“增量”发展模式的企业虽然在发展初期会面临高技术产品与大众消费需求不匹配的问题，但其超脱于“满足需求”达到了“创造需求”的境界[12]，甚至能对其他行业形成“降维打击”（例如智能手机淘汰了传统移动通讯），具有极大的商业价值。事实上，经过近 20 年的持续推进，同时随着中国逐步向高端制造领域迈进，以液态金属为代表的一众增量型产业正在成为业界广泛瞩目的焦点。

“液态金属”是“新兴科技产业”中的一类，这种有别于传统的产业，系由新科研成果或新技术应用的出现而在某一地区形成[13]。“新兴科技”中的“新”表示液态金属的上下游产业结构与传统产业相异，具有不同的产业逻辑，同时向消费者提供全新的产品或服务；“兴”则表示产业还处于萌芽阶段或成长初期，客户群体和收入来源尚不稳定，但具有巨大的发展潜力与增长爆发力；而“科技”则是产业最鲜明的属性，表示产业以科研成果、创新技术作为核心驱动，将成果转化为产品，对产品进行量产，最终实现技术变现。

然而，这类非传统产业在发展初期，天然面临着成长孵化与资源保障的矛盾，衍生出诸如研发布局、提速增效、探索实践与市场营收等关键挑战，严重制约了进一步的成长空间[14]。为助力液态金属新工业可持续健康发展，本文旨在探讨液态金属工业构建、产业培育与投融资的一般策略，发掘其中的协同发展机制，剖析此类增量型新兴科技产业发展中亟待解决的投融资问题，并给出对应的措施建议，以期助力中国增量型科技企业发展壮大，乃至服务全球。

在下文中，我们首先对液态金属产业特点进行简要介绍；随后从整体与个体两个视角阐述液态金属科技产业发展过程中可能面临的利好与挑战；在此基础上剖析不同投资者从液态金属产业投资获得的回报问题；进一步地，结合液态金属新兴科技产业的发展利好、实施障碍、投资者回报与产业自身的特点，具体讨论与产业协同适配的投融资模式；最后，介绍了一些典型的投融资案例，对液态金属未来可能的投融资问题与方向进行展望。

2 液态金属产业的增量型特点及其提供的历史机遇

液态金属是典型的从 0 到 1 型产业。硅谷著名风险投资人彼得蒂尔在其著作《从 0 到 1》中提出[15]：产业发展的过程可以分为从 1 到 n 与从 0 到 1 两种，前者是水平进步，也称“全球化”，即是将有价值的事物从旧有市场推广到新的市场；后者是垂直进步，即通过科技创新的方法使某种事物更易完成，从而创造新的市场。借鉴彼得蒂尔的观点，本文根据各类新兴科技产业所处的发展过程将其分为“存量型”科技产业和“增量型”新兴科技产业两类。显然，液态金属正是从 0 到 1 发展模式的“增量型”代表。

存量型科技产业是从现存的、已经积累起来的技术出发，处于从 1 到 n 发展过程的科技产业，其中的“存量”指过去一定时间内积累起来的事物。当某一新兴领域的技术体系初步形成，基于这类技术创造的产品已经得到市场验证后，它必然会随着全球化的进程扩散至新的区域。当地企业在认识到技术的重要性后会以现存的技术体系为基础建立新的产业，并通过复制或升级原有产品来打开新的市场。我国存量型科技产业的典型代表为：芯片制造业、新能源汽车产业等。

与“存量”相对的，“增量”是指过去没有的、新增加的事物。进行增量型创新，通过全新的技术体系开辟蓝海市场的科技企业被称为增量型新兴科技企业。液态金属科技产业以“增量型”创新为核心理念，从 0 开始构建技术体系、创造产品并打开市场。在一开始，很少有人意识到这种创新的价值，不过一旦这种突破了现有生产力、替代了旧有产品甚至创造出新需求的产品经受住市场的考验，将迅速经由全球化的过程扩散至世界各地。

从两类产业的发展模式中可以看出：“增量”与“存量”是同一发展过程中的两个阶段，前者会随时间的推移转变为后者，但后者必须在前者基础上才能发展。因此在新产业从 0 到 n 的崛起过程中，从 1 到 n 的量变过程和从 0 到 1 的质变过程同样不可或缺，且对于志在引领的国家或地区而言后者更为重要。目前液态金属科技产业正处于混沌初开的发展阶段，产业助推和支撑尤为关键。

液态金属天然具有鲜明的科技属性和创新驱动的发展理念，对私人投资者、政府与社会均具有重大意义，其价值不仅体现在复制与赶超的水平进步上，更凸显于破坏性创新的垂直进步中。

复制是产业水平进步的第一个阶段，也是一种被动防守的过程。对于任何国家来说，科技都代表着第一生产力，而新兴科技往往又走在科技的最前沿。为了不在生产力上落后，学习最新的技术体系就成为了一个必要的过程。在此过程中，新地区的企业利用后发优势，通过自行研发或与他国企业合作的方式构建本地的存量型科技产业。液态金属科技产业的建成能够提升原有的生产力，改善消费者的用户体验，进而带动消费，并帮助国家在国际竞争中不落下风。

赶超是产业水平进步的第二个阶段，也是一种主动出击的过程。由全球化导致的竞争存在于地球的每个角落，在忽略贸易保护的情况下，任何企业乃至国家均面临着巨大的竞争压力。因此，当新地区的存量型科技企业在学习已有的知识体系并顺利地完成产品转化乃至打开市场后，为了防止自己在竞争中落于下风甚至被淘汰，它们会在已有的技术和产品上进行改良和创新，进而在重要赛道上赶上甚至超越技术流出地。这种“后来者居上”的行为同样会使作为行业先驱的技术流出地企业受到竞争压力，迫使它们进行技术与产品创新以赶超当前的前沿企业。不同地区不同企业彼此间的不断赶超使得产业飞速发展，对社会进步具有关键作用。

相较于“水平进步”，“垂直进步”更少发生且弥足珍贵，是仅存在于增量型新兴企业中的一种发展过程，其价值体现在增量型新兴企业带来的“破坏性创新”之中。

“破坏性创新”理论指出：企业能够通过创造新的生产模式与生产函数打开新的市场，其带来的生产力上升与利润额增加足以弥补原有固定资产与投资的过时、无效与贬值[16]。对于液态金属增量型科技产业而言，近年来涌现出的破坏性创新正是通过构建新的技术体系，在新的赛道上进行产品开发与企业孵化，借由更强的生产力打开市场并对其它产业进行替代的一种过程。

从历史的角度来看，科技上的破坏性创新是一种远比复制与赶超更为重要的进步过程。远到汉唐时期，中国凭借众多发明领先世界一千多年；近到三次工业革命，蒸汽机、电气和信息技术的发明改变了世界格局，使人类社会迈入了新的文明；再到当今，芯片与新能源技术已成为我国走向社会主义现代化强国的必经之路上的一道难关。历史经验已经证明，新赛道对原有赛道的“降维打击”难以通过其他手段进行弥补，液态金属这种从 0 到 1 的技术创新对产业、国家乃至人类社会都有突出意义。

正如许多学者指出的那样，一类材料可以开启一个时代。一直以来，材料在科技的发展过程中起到至关重要的作用。2011 年诺贝尔化学奖得主 Dan Shechtman 教授曾指出[17]：在今天的技术中，最大的一个限制就是材料技术方面的缺乏。在众多材料中，液态金属因其常温下呈液态的特质，具有良好的导电性和导热性以及一系列多功能属性，帮助打通了大量应用技术的瓶颈，促成了众多颠覆传统的产业应用[18]。

从古至今，时代的进步都与某种材料息息相关。在石器时代，人类只能通过对石头等天然材料简单加工进行日常活动，材料的严重限制导致人类的生存环境极其恶劣。随后，陶器、青铜器与铁器的出现标志着人类已经从被动获取材料过渡到主动制造材料，对三大材料的运用使得生产力大幅度提高，让人类从动物时代步入文明社会。随着物理学与化学体系的逐渐完善，人类不再满足于通过简单的冶炼和烧制手段创造材料，而是根据自己的需求、利用物理化学原理制作蕴含某种特定功能的材料，这些材料包括今天在日常生活中广泛使用的合金、开启信息时代的半导体以及具有广阔发展前景的超导材料等。

从材料的进步可以看出，每一次新材料的出现都是一次破坏性创新，例如：铁器凭借其坚硬的特性与金属的韧性取代了易碎的石器，而合金通过在铁的基础上增加了抗生锈等特性又逐步替代了铁器。材料的更替一方面由旧材料在性质上出现上位替代所致，另一方面也是因为新材料往往具有更多更广的运用场景引发。因此，液态金属作为种类繁多的新型合金材料，其强大的导电、导热性与常温下的流体特性使它天然拥有破坏性创新的潜在特质。

液态金属的独特价值体现在极其广泛的应用途径与不可替代性上。当前，液态金属制品正逐步应用于生活中的方方面面：从个人日常的电脑散热到涉及电场电力、航空航天器散热，再到工业制造中的印刷电子与重症医疗的神经连接，液态金属在发挥应用价值的同时也展现出自身的变革性。因此，这种材料完全具有主导新市场的能力。如果说可以像历史上青铜器时代、铁器时代那样用金属来刻画一个时代的话，当前的人类社会在某种程度上正在步入液态金属时代。

3 液态金属科技与工业的快速衍生性及其扩展特点

3.1 液态金属科技与工业的萌芽

2002 年前后，中国团队提出将低熔点金属特别是镓基液态金属流体用于芯片冷却，由此开启了液态金属这类高安全性常温液态金属的基础与应用研究[19]。2 年后，中国科学院理化技术研究所（以下简称“理化所”）开始推动液态金属前沿技术的产业转化。液态金属因其远高于常规流体的热导率，大幅度提升了流体换热系数，成为了解决高性能芯片“热障”问题的关键技术[20]，在芯片及其衍生行业中展现出重大价值。2008 年，中国学者基于前期的研究成果及产业实践经验，提出在中关村建立液态金属谷、完善液态金属新兴科技产业链的前瞻性布局。但此倡议最终于 2013 年启动于被称为有色金属王国的云南，当地企业家创设中宣液态金属科技有限公司（以下简称“中宣公司”），实施科技成果产业化。

2014 年，理化所液态金属项目作为“科技入滇”重点签约项目，在业界产生重大影响，结合云南有色金属资源优势建设中国液态金属谷的倡议也在同年得以落实[19]。随后的 1 年里，作为液态金属新兴科技产业领头羊的中宣公司在国内建成多条生产线，并相继推出液态金属导热片、液态金属导热膏、液态金属电子手写笔、液态金属 3D 手写笔等系列产品；同时，为保证液态金属新兴科技产业的可持续健康发展，云南科威液态金属谷研发中心应运而生，并不断吸纳各地的科研人才与产业人才，为液态金属谷提供了可靠的技术保障。

2015 年，云南宣威举办的首届液态金属产业技术高峰论坛正式确立了将宣威作为中国液态金属谷所在地以及液态金属全新工业策源地[19]，广东、北京等地多家液态金属相关企业入驻液态金属谷。2016 年，专注于生产散热产品的云南靖创液态金属热控技术研发有限公司（以下简称“靖创公司”）在云南曲靖成立，为液态金属新兴科技产业细分打下了坚实的基础。2017 年，云南液态金属谷的产业成果入选“2016 云南十大科技进展”，并于此后逐步建立起完善的液态金属研发、生产、检测等产业体系，先后孵化出 10 家相关产业化公司，“中国液态金属谷”产业集群初步形成[21]。

目前，此态势还在不断发展中，越来越多的企业和投资者纷至沓来，一个新兴工业已初露曙光。在液态金属项目落地后的几年间，逐步形成的液态金属代表

性企业积极响应国家政策号召，增加当地就业、完成本土制造业升级换代、为云南未来建成类似美国“硅谷”那样的高端科技产业中心绘制了蓝图。

液态金属作为一大类具有无限想象空间的新型材料，具备一系列优异的物理化学性质，可应用于众多领域，如不完全列举有[21]：

3.2 先进散热领域

一直以来，硬件的发展都受制于散热问题。著名的摩尔定律提出：集成电路上可以容纳的晶体管数目大约每经过 18 个月到 24 个月便会增加一倍。与之对应的是，集成度的增加却会带来严重的发热问题，处理器的性能提升愈发缓慢。然而，发端于中国的液态金属芯片散热技术集水冷、风冷等众家之所长，凭借液态金属的流动性、导热性、高体积相变潜热等优秀特性，在解决业界的诸多技术难题上实现了革命性的突破，并成功转化为实用产品。我国团队先后推出多款显著优于市面上顶级热管散热产品的液态金属 CPU 散热器[22]；中宣公司于 2014 年量产液态金属热界面材料并随后应用于索尼、联想等知名公司的电子产品；靖创公司的相变热控产品也正逐步应用于相关领域。

3.3 印刷电子与 3D 打印

“制造一切”一直以来就是人类的一个终极理想，而低成本个性化的产品设计制造更是未来的需求之一。然而，现代工业中的电子电路制造均是规模化产业，具有耗时、耗材、耗水以及耗能等问题，难以提供个性化定制服务，这一问题有望在液态金属技术支持下得以解决。2010 年前后，中科院理化所团队开创性地提出液态金属印刷电子[23]与 3D 打印技术[24]。经过产业实践，该团队于 2013 年成功完成技术成果转化，研制出世界首台液态金属桌面级电子电路打印机，可在任意基质上打印的液态金属喷墨打印机，以及常温下直接成型的液态金属 3D 打印机[24]。

近 10 年间，随着智能设备的出现、信息传输技术的突破以及人工智能的兴起，传统的休闲娱乐、医疗健康等需求正在以“智能可穿戴设备”这种新的形式体现在消费者群体中，如何实现智能化、个性化、轻量化成为高科技消费品制造业的关键问题，而液态金属电子制造正是变革性解决方案之一。

3.4 生物医学

液态金属生物医学是正在兴起的科学前沿，发展空间巨大，液态金属的引入解决了许多医学挑战面临的瓶颈。比如，对于神经损伤问题，由于人类神经自然的修复速度极为缓慢，众多与神经相关的疾病如高位截瘫等难以得到治疗，而近年来诞生的液态金属神经连接与修复技术在未来可望发展成为治疗神经疾病的

一大临床手段。此外，脑机接口等未来技术也能够在该技术的支持下得以快速突破。

对于骨骼受损问题，传统的骨科外固定支具由于坚硬、难以快速形变等性质，存在舒适性差、适用范围窄、移动不便等痛点。云南迈特力医疗技术有限公司针对以上问题，基于液态金属的低温熔塑特性，研发出已可应用于临床的液态金属骨科外固定支具，为行动不便的骨科病患者与具有运动功能障碍的老年人提供了轻便舒适的固定支具。

3.5 柔性机器人

在现代，机器手臂、机器人在工业生产、军事活动等应用场景中开始普及，然而，即使通过增加关节等方式提升机器的灵活度，这类刚性机器在废墟救援、环境探查等复杂任务时也难以发挥作用。因此，制造可在不同形态之间可控转换的柔性机器人是科学家与工程师长久以来的目标。我国学者在 2014 年发表了关于液态金属柔性机器的开创性研究，揭示了液态金属在不同形态与运动模式之间转换的普适变形能力[25]，为柔性机器的发展指明了一条可行方向。我国学者随后发现的一系列液态金属自驱动机器效应及可控变形技术，更是为未来研发出类似于“终结者”的液态金属柔性机器人奠定了坚实的基础。

4 液态金属产业面临的机遇与挑战

作为增量型事物，液态金属新兴科技产业与存量型企业在面临风险、投资价值与发展模式上有着本质的差别，更需要针对性的培育策略。

如下，我们从整体出发，分析新兴科技产业面临的宏观环境因素，随后聚焦于液态金属新工业，具体剖析以液态金属为代表的增量型新兴科技产业发展中特有的机遇与挑战。

4.1 政策利好

在中国，新兴产业发展离不开国家政策的指导，而政策的支持也能够助力产业快速渡过最艰难的“萌芽期”，对于液态金属产业同样如此。

4.1.1 中央政策

在宏观整体层面，针对“十四五”期间的产业发展规划，新华网于 2020 年 10 月 29 日授权发布的《中国共产党第十九届中央委员会第五次全体会议公报》提出：将“科技创新”尤其是关键核心技术的“自主可控”作为第一目标，从“制造业升级”、“高质量供给”、“数字经济发展”三个方面作为加速产业升级等主要任务[26]；对其中的新兴产业，国家发展改革委、科技部等四部门同年发布的《关

于扩大战略性新兴产业投资培育壮大新增长点增长极的指导意见》从聚焦重点产业领域、打造集聚发展高地、增强要素保障能力和优化投资服务环境四个方面阐释了中央关于新兴产业的战略构想[27]；具体到新兴产业中的知识产权，中共中央、国务院印发的《知识产权强国建设纲要（2021－2035 年）》提出了“在 2035 年，从知识产权综合竞争力、知识产权系统完备性、知识产权文化自觉性等方面基本建成中国特色、世界水平的知识产权强国”的预见性目标，从多角度强调了知识产权的重要性。

在具体的企业部门层面，中央针对性地提出多种政策措施，如：工业和信息化部会同国家发展改革委、科技部、财政部等共十九部门联合发布的《“十四五”促进中小企业发展规划》指出，要从政策体系、服务体系、发展环境三个领域，解决中小企业融资难、融资贵以及合法权益难得到保护两大问题，帮助中小企业提升创新与专业化水准，进一步增强中小企业核心竞争力，为加速发展现代产业体系打下基础[28]；国务院促进中小企业发展工作领导小组办公室印发的《提升中小企业竞争力若干措施》从财税扶持、融资支持、加强创新、提升工业设计附加值、加强知识产权运用于保护等 11 个方面提出了关于中小企业发展的 34 条具体措施[29]。

对液态金属新兴科技产业而言，中央政策从以下三个方面提供了支持：1. 指明大方向——中央关于“十四五”的产业规划中把新兴产业列为发展重点，为地方政府指定了重点帮扶对象，也给广大私人投资者提供了投资建议；2. 强调知识产权的重要性——知识产权作为技术的代表是新兴科技产业发展中至关重要的一环，此次政策从多个角度完善知识产权体系的构建，在保障了企业根本利益的基础上，起到了提升企业核心竞争力的作用；3. 聚焦中小企业——中小企业作为新兴科技产业的主力军，在发展过程中由于自身的特性总会面临各种各样的障碍，此次政策中关于中小企业的各种发展措施将从各个方面解决难题，在提高创业成功率的同时加强中小企业核心竞争力。

4.1.2 地方政策

在地方层面，各省市政府也根据中央提出的宏观指导意见与政策方针制定了符合地方特色的针对性发展政策，例如：云南省发展改革委会同省工业和信息化厅经由省政府批准制定的《云南省新材料产业发展三年行动（2022-2024 年）》，立足于云南省作为“有色金属王国”的资源优势，开展地方特色产业发展、关键技术公管、优势企业引育、特色园区打造等行动，力争在 2024 年完成新材料产业产值达 1800 亿元以上、产业规模实现三倍增、打造主营业务收入超 500 亿的新材料企业 2 家以上、专精特新“小巨人”企业 5 家以上等任务[30]。

地方政府基于对中央政策大方向的理解结合区位优势做出有针对性的规划，

助力带有当地特色的新兴科技产业快速成长。这一举措使得立足于云南的液态金属新工业既能发挥云南作为“有色金属王国”的地理优势，保证原材料供应，又能得到地方政策支持，大大缓解成本、资源压力，产业规模得以迅速扩大。

4.2 液态金属新兴科技产业面临的挑战

4.2.1 企业体量小

企业体量普遍较小这一特点是液态金属新兴科技产业与传统产业最明显的区别之一，其中，体量小主要体现在企业雇员少、收入少、占地面积小、产业链覆盖率低等方面。一般而言，进入新兴科技产业的企业主要分为两类：老员工另立门户与完全初创企业。前一类企业的创业团队成员主要是原企业的管理人员或核心技术人员，他们另立门户的目的主要是股权投资回报率高、原企业出于转换成本的考虑不愿投资新技术等；后一类企业的创业团队成员主要是在学界取得一定技术成果的科研人员，他们成立企业的目的是将技术成果应用于实际生产。企业的类型天然决定了其体量不可能过大。

相较于老员工另立门户，初创企业的创业团队由于缺乏在新产业领域的实践经验，存在技术成果难以转化、缺少融资渠道、企业管理结构混乱、上下游联系薄弱等问题，具有更大的不确定性。

4.2.2 面对蓝海市场

相较于传统产业或存量型科技产业，液态金属新兴科技产业面对完全的蓝海市场。一方面，由于没有先例，企业不知道竞争对手的情况；另一方面，由于大多数消费者会对陌生的产品持观望态度，企业也难以准确估计消费者的购买意愿。蓝海市场的不确定性会导致企业难以快速变现，影响企业的周转效率。因此新兴科技企业需要迅速了解竞争对手的情况与消费者的需求，尽快制定竞争战略、明确产品定位、划定客户群体，实现产品正常变现以创造利润。

4.2.3 经营活动不稳定

对于以盈利为目的的企业而言，日常的经营活动是主要的收入来源。但由于蓝海市场的不确定性，液态金属新兴科技企业往往存在经营活动不稳定的特点，这种不稳定性主要体现在三个方面：1. 生产技术不完善；2. 经营战略不确定；3. 成本变化幅度大。

首先，由于液态金属产品具有较强的创新性，企业往往缺乏生产经验，加之产品预期销量不明确，难以选择合适的生产技术，也无法迅速构建出一套高效率、低成本的生产流程。其次，液态金属新兴科技企业的经营活动以产品销售为主、服务为辅，因此不完善的生产技术也会影响企业对经营战略的判断；另外，液态

金属新兴科技企业面对全新的产业环境，不完整的上下游产业链、未知的竞争对手和不确定的用户需求，这使得企业必须在原材料采购、市场营销、售后服务等方面进行多次试错，通过积累经验来确定最佳经营战略。最后，前两种情况的存在会导致企业的成本曲线变化剧烈：在一开始，由于生产流程不完善、需求估计不准确，企业往往存在原材料消耗大、库存积压的问题，需要承担较高的成本；随着试错次数的增加，企业的生产流程逐渐完善、经营战略逐渐明确，总成本随之下降，最终趋于平稳。

4.2.4 原材料供给障碍

对于液态金属企业来说，原材料是生产产品的基础，原材料供给困难将导致企业难以按时、按量地以预计成本进行生产。然而，一方面液态金属产业存在产业链尚不完整的问题，由于没有专门的原材料供应商，企业将被迫通过多种途径以更高的价格成本和时间成本采购原材料；另一方面液态金属新兴科技企业普遍规模较小、议价能力较差且一次性采购数量较少，势必面临更高的单位成本。

4.2.5 下游销售障碍

企业只有成功地将商品卖给消费者，才算是完成了劳动到价值的转换。然而，液态金属新兴科技企业在销售过程中面临着来自消费者、竞争对手和经销商三方面的挑战。对于消费者，由于新技术本就不为其所熟知，因此消费者会对产品持观望乃至怀疑态度，加之竞争对手的广告宣传也会干扰非专业领域消费者对产品好坏的判断，进一步影响企业的销售；对于竞争对手，新产品的推出必然会抢占部分旧产品的市场份额，生产被替代产品的竞争对手可能会通过降价等手段重新抢回市场份额，阻碍新兴科技企业占领市场；对于经销商，由于新兴科技企业往往议价能力较差，且产品销量具有较高的不确定性，因此企业一般会面临较高额的中介费用，利润空间受到挤压。

4.2.6 人才储备要求高

正因为面临着来自于上下游的各种障碍，液态金属企业的生产经营活动才更需要各个领域的人才通力合作才能顺利推进，再者新兴科技企业天然存在较高的技术门槛，对企业的人才储备提出了更高的要求。不过，本文后续会指出，集群化发展模式一方面加快了人力资本的流动，帮助企业更快雇佣到合适的员工，另一方面造成知识外溢，有助于提升企业已有雇员的素养，使之更加适配企业的生产经营活动，部分缓解了人才压力。

4.2.7 风险承受能力弱

一方面，液态金属新兴科技企业本就存在自有资金不足的问题，难以承担高额的试错成本；另一方面，新兴科技产业必然面临从技术开发、成果转化到打开市场的整个过程中每一个环节给企业带来的巨大时间成本，这极大地延长了企业变现周期，使之可能面临难以偿还贷款或无法完成对赌要求的窘境，最终导致企业破产或创始人股权转让。

5 液态金属产业构建及快速培育的集群化发展模式

虽然处于发展初期的液态金属产业面临着各式各样的挑战，但处于其中的企业能够通过集群化发展模式从容应对这些阻碍，如下对此予以详细说明。

5.1 液态金属先期已形成的产业集群

在产业建设方面，“液态金属谷”有机结合了地方政府、企业、学术机构、研究机构、金融机构、中介机构、营销团队与媒体机构的优势资源，着力打造八位一体的液态金属新兴科技产业集群[31]，逐步完善上下游产业链，形成了多方共赢的局面。

如图 1 所示，“液态金属谷”在地方政府的相关产业政策支持下，立足于中国科学院理化技术研究所、清华大学研发团队形成的关键技术，由云南科威、云南靖创等研究机构进行产品研发，通过云南中宣、云南靖华、北京梦之墨、云南巨晶等及孵化出的一众企业实现产业转化，在媒体机构、中介机构与营销团队的帮助下初步实现技术变现，向构建完整的产业生态体系迈进。

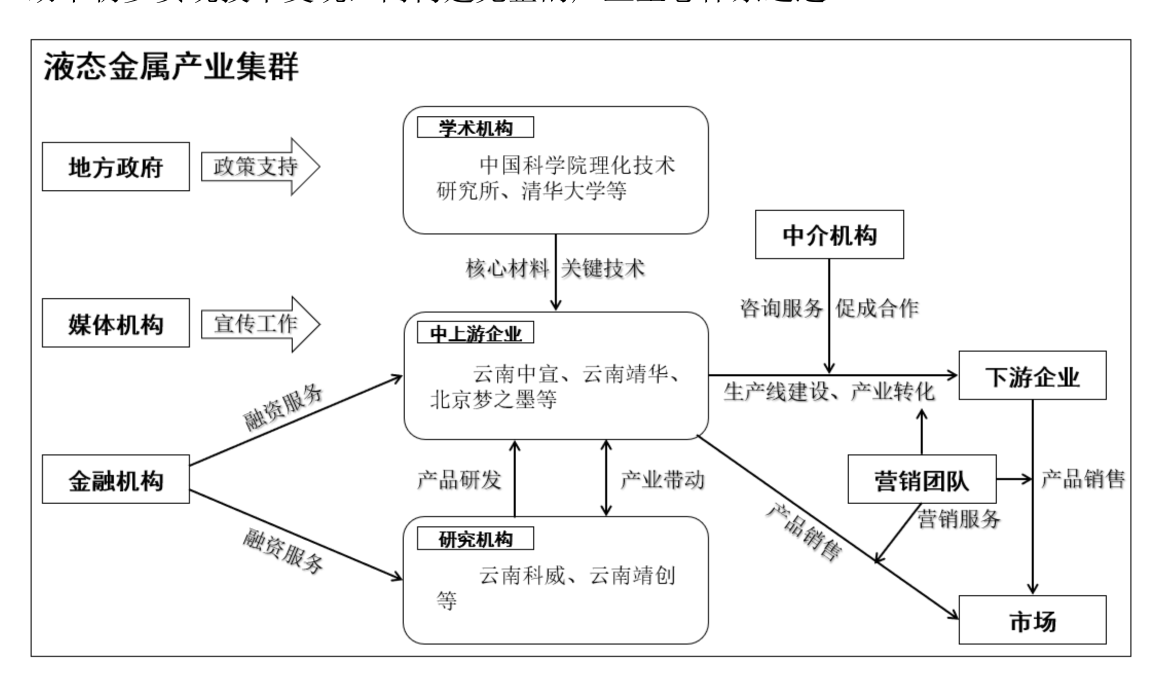


图 1 液态金属产业集群化发展概况（根据文献[31]绘制）

5.2 液态金属集群化发展模式与策略

从国内外新兴科技产业的实践历程来看，大多同行业甚至跨行业的创新性企业在创设初期都会采取“报团取暖”的产业集群化发展方式，并最终形成辐射范围极大的科技产业集群，典型代表有：美国的硅谷、中国的中关村等。位于云南液态金属谷的产业采取的集群化发展模式，可让处于集群中的企业具有低成本、正外部性等多种优势，乃至实现“1+1>2”的效果，助力科技创新企业快速发展，推动产业规模迅速扩大。产业集群中存在的基本交互模式如图 2 所示，产业集群的建设与扩张使液态金属新兴产业，能够充分利用集群化发展模式带来的各种效益。如下对此予以具体分析。

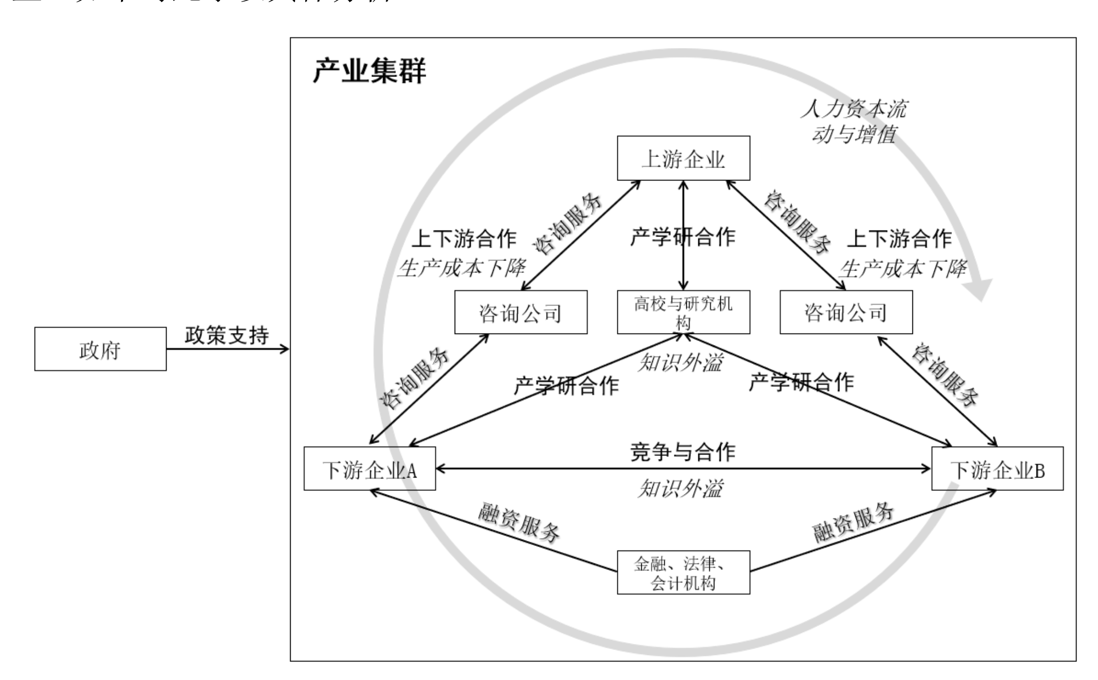


图 2 液态金属产业集群可以依托的基本交互模式

集群化发展模式被定义为：位于已经形成或正在形成的产业集群中的企业，在与集群中其它企业的竞争与合作中快速成长的发展模式。其中，产业集群的概念在 1998 年首次由美国著名管理学家迈克尔波特在其著作《国家竞争优势》中提出。波特认为，产业集群是一组在地理上靠近的相互联系的公司和关联的机构，它们可能处于同行业或不同行业、同领域或不同领域，但都相关于某个特定的产业，由于具有共性和互补性而联系在一起[32]。

产业集群主要具备三个特点：1. 集群限定在一定范围的地理空间内，集群主体间具有较近的地理距离[33]；2. 由于集群中的企业和机构都相关于某个产业，因此集群的各个主体对集群中已有的和新产生的事物有较强的接受程度，集群主体间具有较近的认知距离[34]；3. 基于以上两点，集群内的企业和机构之间存在频繁的交互[35]。

液态金属产业集群重点聚焦于云南宣威，集群中企业彼此地理位置相近，且企业核心成员均以相关领域技术人员为主，极大地降低了企业间的交流障碍。产业具备的优势及相应应用策略主要分为以下几方面。

5.2.1 生产成本优势及应用策略

a）分工协作

微观经济学理论中提到，当多个企业采取各自具有比较优势的行动且相互合作时，能够在成本一定的情况下产出更多成品。例如：假设甲乙两企业分别生产 A、B 两种零件，且两种零件市场价格相同，在零件单位生产成本相同的情况下，甲企业能生产 A 零件 50 个、B 零件 40 个，乙企业能生产 A 零件 20 个、B 零件 25 个，甲企业生产效率具有绝对优势，但乙企业在生产 B 零件上具有比较优势，两企业分别生产 A、B 零件能够具有最大效益。除分工创造的直接成本优势外，处于产业集群中的新型科技企业由于能够长期专攻某一细分领域，因此更容易产生创新与科技突破，这不仅提高了企业的生产力而且强化了已有企业孵化出新企业的可能性，给整个产业集群提供了间接成本优势。

而且，集群化发展模式为集群主体之间进行分工协作提供了客观环境。一方面，处于同一产业集群中的新型科技产业地理位置接近，运输和工业化成本极低；另一方面，各集群主体彼此都相关于同一产业，产成品相互适配，下游企业无需为寻找上游供货商付出高昂成本。液态金属产业中的各个企业均集中于生产某一种或两种产品，能够充分发挥分工协作优势。

b）外部规模经济

微观经济学理论指出，由于可变成本增加稀释了固定成本占比，因此企业的单位生产成本随企业自身的规模扩大而减少，这一现象称为“内部规模经济”。当内部规模经济扩展至整个产业时，由于产业内的各企业间存在交互，因此其各自的单位生产成本也会随企业所处的行业规模扩大而减少，该现象称为“外部规模经济”。

产业集群中的各个主体彼此分工协作，快速形成内部规模经济，加之集群在发展过程中也会吸引外部企业进入，产业规模因而快速扩大，在短时间内形成外部规模经济，生产成本得以降低。液态金属全新工业体系凭借其独到的创新性与广泛的应用场景吸引了北京、深圳的相关领域高科技企业布局于云南，产业规模逐渐扩大，外部规模经济的成本效应日益凸显。

c）区位特色

在产业集群的形成之初，某些区域能够凭借其特有的地理优势吸引处于相同

或相关产业的企业或机构加入，从而快速形成集群的雏形，为集群发展打好基础。例如：云南曲靖凭借其丰富的太阳能资源、种类繁多的有色金属资源与低成本的绿色水电资源，吸引了一批光伏产业的龙头企业加入，打通上下游产业链，形成了以光伏为主题的产业集群。除天然的地理优势之外，产业集群的领域集中性有利于当地政府制定更具有针对性的产业发展政策，这点于上文有所体现。液态金属产业扎根于金属资源丰富的云南省，在资源优势与地方帮扶的双重加持下得以迅速发展。

5.2.2 非物质资本的正外部性及应用策略

非物质资本指区别于土地、生产设备等物质资本但同样能在生产过程中创造价值的特殊资本；正外部性指当一方为另一方提供某种服务，同时也会为第三方带来附带的好处或损失，而第三方作为受益者不用为此支付报酬，作为受损者也不会因此得到补偿的现象[36]。液态金属新兴科技产业集群能够通过人力资本与知识资本这两种非物质资本带来的正外部性加速产业发展。

a）人力资本的流动与增值

诺贝尔奖得主西奥多·W·舒尔茨于 1960 年美国经济年会中对人力资本进行了系统阐述，他认为：人力资本是一种体现于劳动者身上的非物质资本；人力资本的价值由劳动者的知识/技术水平、生产能力、健康状况等属性衡量；人力资本能够像物质资本一样在生产中创造价值，但又有别于物质资本。具体而言，人力资本与物质资本的区别在于：1. 人力资本具有非同质性，且价值越高的人力资本具有越强的非同质性——例如，具有管理能力的领导者以及科研能力强的技术人员对于企业而言都是稀缺且难以复制的核心生产要素；2. 人力资本具有增值性——随着不断地劳动，劳动者会累积更多的知识、增加劳动熟练度、提升劳动能力，因此人力资本的价值会随着使用而增加。3. 人力资本的流动并非完全遵循市场规律——劳动者作为一种特殊的资本，具有独立的思考能力，这种资本并不一定会流向出价最高的一方。例如，具有管理能力的领导者除了当前的薪资之外还会考虑公司的发展前景，具有科研能力的技术人员会考虑研究氛围等。

有别于传统行业，液态金属新兴科技产业更看重技术水平与创新能力，因此人力资本的独特性会被放大。举例来说，液态金属科技企业为了保证自己的产品具有吸引力，需要保障自身的技术水平处于市场前沿，因此一般由相关领域的顶尖科学家担任领导者或核心技术人员，这一现象体现了人力资本的非同质性。关于液态金属科技产业中存在的“对人力资本高需求”的问题，集群化发展模式给企业提供了适配的解决方案。一方面，液态金属新兴科技企业存在较大的不确定性，对劳动者本身的素质提出了更高的要求，而产业集群中更加紧密的分工协作

与竞争关系能更好地发挥劳动者的增值性，帮助劳动者快速成长；另一方面，产业集群中的企业都相关于某一领域，能够给具备专业技能的劳动者提供更多选择，且由于集群中的企业地理位置相近、薪资水平相似，劳动者在其中的流动障碍较小，具有更低的试错成本和更大的提升空间。企业出于自身盈利的目的帮助劳动者进行人力资本增值，而劳动者基于流动障碍较小的客观环境与改善自身经济状况的主观意愿在集群中流动，两者结合带来正外部性，帮助产业集群快速发展。

b）知识外溢

对于液态金属新兴科技企业而言，"发明创造"是塑造企业竞争优势的根本。然而"发明创造"是一种复杂劳动，具有"量变引发质变"的特性，这给企业的知识积累量和获取知识的能力设置了极高的门槛，因此企业必须通过雇佣高价值劳动者或提升雇员劳动能力这两种途径来完成生产活动。面对这种特殊需求，集群化发展模式产生的知识外溢能够帮助企业解决难题。

知识外溢是科技产业集群中存在的一种正外部性，这一现象是指：可以用语言、图片、声音等载体表示出来，且能够被他人理解的"显性知识"和仅存在于个别劳动者脑内、无法用载体表示出来的"隐性知识"[37]，通过人员流动和信息交流等方式进行共享，这种知识流动过程无法给作为雇主的企业和作为知识提供者的技术人员提供高于成本的收益，但能帮助产业集群快速发展。

液态金属谷新兴科技产业集群主要通过以下渠道产生知识溢出：1. 上文中提到，劳动者会基于主客观理由在集群中流动，给其他企业带去显性或隐性的知识；2. 集群中的企业与企业、企业与研究机构之间会进行频繁的交流合作，导致已有知识外溢乃至创造新的知识；3. 位于同一产业集群中的劳动者或多或少会在非工作时间于园区中的咖啡馆、餐厅等非工作区域接触，存在潜在的知识外溢可能性；4. 位于同一集群中的劳动者之间存在的同学、朋友和亲戚等社会关系构成社交网络，知识能够通过该网络进行快速传播[38]。

更为关键的是，中科院理化所团队经过 20 多年的研究，共申请液态金属相关专利 300 余项，连同北京梦之墨、云南液态金属谷产业集群，申请底层技术专利超过 1000 余项，已形成相对完整的知识产权体系。自理化所、宣威市政府、中宣公司合作的云南科威液态金属研发中心成立以来，共 20 多款新产品相继问世，研发创新与成果转化能力在业界保持领先水准。同时，大部分液态金属技术均为首创。可以说，中国团队始终保持在液态金属领域的技术最前沿。强大的研发团队和完整的知识体系大大加快了知识外溢的进程，有效提升了产业集群的发展速度，这些大体量的科技成果资源可以满足该领域日益增长的投资需求。

5.3 液态金属集群各主体间的交互行为及助推产业指数增长策略

前文分别从生产成本与非物质资本两方面概述了液态金属新兴科技产业集

群能够快速发展的基本机制。本节将根据“是否同行业”和“是否同领域”两种标签，将集群中的企业、机构及政府等主体两两之间的交互行为分为四种情况，更具体地说明集群化发展模式如何助推产业发展。其中，“是否同行业”指两个主体是否具有相似或相关的客户群体，“是否同领域”指两个主体的主要业务是否具有同样的学科背景。

5.3.1 同行业同领域主体间的交互行为

第一类交互行为主要表现为技术水平、主营业务和市场规模相似的企业之间的竞争与合作行为。

由于主营业务的相似性，这类企业往往面临同样的客户群体，因此彼此间会频繁地产生竞争。例如，“美团”与“饿了么”这两家以外卖服务为主要营生的企业为了争取用户、抢占市场，必须尽量提升外卖的质量与送外卖的速度。具体而言，企业需要通过提高推荐算法的准确率帮助用户快速选择更合口味的外卖，通过制定严格的质量标准保证外卖店家的食品质量，通过提升路线规划算法的计算能力帮助骑手更快送达外卖。这种竞争行为给产业提供了更先进的技术与更合理的行业标准。

然而，企业间的竞争与合作关系是动态变化的。例如，“沃尔玛”和“宝洁”都是以日用品销售为主营业务的企业，两者在上世纪 70 年代为了争夺供应链的主导权，进行过长达十多年的斗争。后来，双方从中吸取了“合则两利，斗则俱伤”的教训，在零售业务上展开了合作。具体落实中，双方先后完成了制造商库存管理系统、电子资金结算系统的开发与协同式供应链库存管理流程的构建，在提升销售额、加快产品周转与降低生产成本的同时，给整个行业提供了新的库存管理技术与思想，推动了日用品销售行业的发展。

此外，企业间也会出于技术研发的考虑进行合作。这种技术交流以及新技术孵化的行为同样能给产业集群带来生产效率增加、产品质量提升、产业整体规模扩大等好处。

如今，液态金属产业位于云南的产业集群尚处于雏形阶段，集群中的企业大多专精于某一两类产品，彼此间的交互行为以合作研发为主，竞争并不激烈。

5.3.2 同行业不同领域主体间的交互行为

第二类交互行为主要表现为产业上下游企业之间的合作行为。

一般而言，新兴科技产业具有上下游产业链条长、环节复杂、各单元专业性强的特点，因此很难存在一家企业覆盖整个产业链条的情况，上下游的企业需要精诚合作才能实现从劳动到商品的“惊险一跃”。

针对上述情况，集群化发展模式能够从两个方面为液态金属产业中的上下游

企业合作提供帮助：1. 得益于产业集群中各主体地理位置相近的特点，上下游企业的沟通成本被大大降低，企业间更容易达成合作；2. 产业集群中的同行业同领域主体间存在激烈的竞争关系，给客户企业提供了成本便利与质量保证。

5.3.3 不同行业同领域主体间的交互行为

第三类交互行为主要表现为产学研合作行为，具体指液态金属企业、高校与研究机构出于理论与实践相结合的原则展开合作，形成覆盖从研发与成果转化环节到生产与销售环节的产业体系。

总的来说，当前的液态金属产学研合作本质是资源整合、优势互补的过程，在这一过程中，合作双方发挥各自的独特优势，同时借助合作伙伴弥补自身的不足，形成共赢的局面。对于高校与科研机构而言：一方面企业直接接触市场，了解消费者的实际需求，能够给学界提供更切合产业经济发展的研究方向；另一方面企业直接参与商业活动，能够通过提供岗位或合作研发的方式帮助学术机构完成就业指标或提供经济支持，从而提升学术机构的研究动力与人才吸引力。对于企业而言：学术机构深耕领域多年，代表着各领域的技术前沿，产学研合作能够帮助企业突破技术障碍，完成产品的更新迭代；此外，学术机构培养众多技术人才，满足企业对高价值人力资本的需求。

在液态金属新兴科技产业集群当中，产学研合作通过加快人力资本流动，使显性知识与隐性知识得以在集群中共享。在这一过程中，旧知识不断累积并衍生出新知识，最终孵化出新的产品，推动集群创新水平提升、产业规模扩大。

5.3.4 不同行业不同领域主体间的交互行为

第四类交互行为主要表现为液态金属企业与政府、中介机构的合作行为。其中，中介机构主要包括金融机构、法律机构、会计机构及产品质检机构等，这些中介机构不参与生产活动，但能够给企业提供其他领域的专业服务，并促成企业与企业、企业与机构之间的合作。在某些情况下，政府也会扮演中介机构的角色。

对于液态金属新兴科技产业集群来说，当地政府制定的产业政策是集群形成的基础，中介机构则起到润滑剂的作用：地方政府根据当地的区位特色，在符合国家发展方向的前提下，制定针对性政策，吸引处于相关产业的企业加入，建成产业集群；而金融机构、律师事务所等机构能够帮助集群中的初创企业解决“融资难”的问题，咨询公司能够帮助上下游企业牵线搭桥，解决原材料供应与产品销售的问题，政府能够帮助构建产学研合作体系，解决企业面临的技术难题。因此，不同行业不同领域主体间的交互行为虽然不直接发挥生产成本优势或创造正外部性，但对整个液态金属产业集群起到支撑和稳固的作用，是集群化发展模式不可或缺的一部分。

6 液态金属产业演化框架

应该指出的是，当前业已发展出来的液态金属企业，与其最终成型的工业相比，只是极小的开端。对于这样有着重大工业价值和巨大拓展空间的行业，需要对其演化态势做出合理的预测和研判，以期更好指导工业实践。新兴科技产业的演化既取决于产业中企业的发展状况，也与企业之间的关系形成过程息息相关。因此，如下通过对这两方面的内容进行分析，试图提出一种液态金属新兴科技产业演化的总体框架，并在这一基础上对可望催生的产业价值进行阐释。

6.1 液态金属企业发展生命周期问题

决定液态金属新兴科技产业演化的首要因素是产业中个体的发展状况，就个体发展情况的研究由来已久，生命周期理论是其中的集大成者。因此，本节借助生命周期理论，具体阐述液态金属企业各阶段的发展状况。

我们知道，根据生命周期理论，任何企业从发展起点走到终点主要会经历四个阶段——初创期、成长期、成熟期和衰退期（如图 3 所示），这四个阶段特点各异。

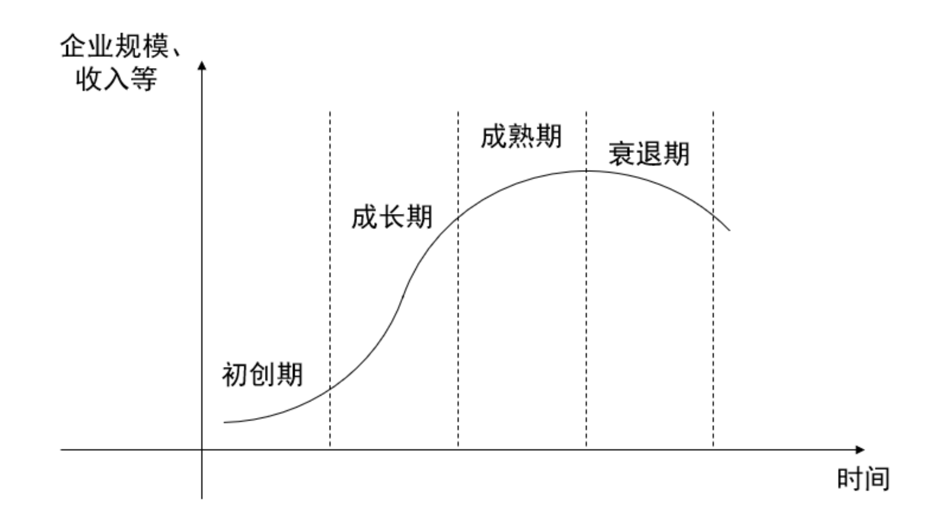


图 3 企业发展的四个阶段

初创期企业：在内部管理方面，尚未形成稳定的管理体系，高管团队在企业决策中起到重要作用；在生产方面，基本完成技术成果转化但尚未建立稳定的原材料供应体系与完整的生产流水线；在产品销售方面，不具有稳定的销售渠道，需要尽快打开市场，提高产品知名度；在日常经营方面，还未形成固定的经营模式，需要尝试各种经营策略。

成长期企业：在内部管理方面，已初步构建完整的管理体系，但职能岗位与雇员人数还在不断增加；在生产方面，已完成生产体系建设，但为满足持续增长

的需求，仍需不断进行扩建；在产品销售方面，品牌知名度已经打响，用户数量稳中有升；在日常经营方面，工作模式已基本确定，但仍有可能根据市场情况进行调整。

成熟期企业：在内部管理方面，具备完善的管理体系，但职能岗位与雇员人数基本保持不变；在生产方面，生产体系与产品需求相互匹配，生产线基本不再扩张；在产品销售方面，已形成稳定的用户群体，收入与利润增速渐缓；在日常经营方面，除并购等重大商业事件外，企业的经营模式保持不变。

衰退期企业：在内部管理方面，面临裁员问题，人员数量逐渐减少；在生产方面，产品需求逐渐下降，部分生产线被荒废；在产品销售方面，用户规模不断缩减，收入与利润同步下降；在日常经营方面，现有经营模式不再适应市场，需要谋求新的发展空间。

6.2 液态金属初创企业往往由破坏性创新所催生

前文提到，破坏性创新是发展新兴科技的关键途径之一，但由于以下原因，这类创新更多诞生自初创企业，而非成熟企业。当前的液态金属企业基本都遵循这样的特点。历史上，如今已成为高科技摇篮的美国硅谷最初并未诞生于拥有诸如麻省理工学院、哈佛大学等一众顶尖高校的波士顿地区，而是从最初没有几所高校，毕业生找不到工作的加州乡村发起，而其他如欧洲一些科技与产业中心的孕育也有类似历程；如今，液态金属谷在云南的诞生和崛起也反映了相近的规律。这些新型工业中心的创建其实有着一定的内在逻辑和规律。如下对其中机理予以解读。

6.2.1 成熟企业缺乏创新动力且面临高额的机会成本

成熟企业往往已经具有稳定的客户群体，且由于品牌知名度已经形成，在所处行业形成稳定的进入壁垒，因此在竞争压力较小的情况下，成熟企业不具备进行破坏性创新的主观动力。以苹果公司的手机产品为例，在初创期与成长期，苹果公司能够提出颠覆行业的智能手机设计理念，并生产出像 iPhone4 这样定义时代的智能手机产品；但随着苹果公司成为全球最大的手机厂商后，每一代产品之间的创新幅度却在逐渐缩减。

此外，成熟企业虽有充裕的资金，但进行创新需要巨大的人力、物力与财力，势必会对其主营业务产生影响。在创新的具体方式上，考虑到破坏性创新一般具有跨行业、跨领域的特点，自主创新难度更大，因此企业往往会通过并购方式进行创新活动。但历史上的商业案例已经证明，并购行为中隐含着大量风险因素：一方面，在选择并购对象时，具有强大技术创新力和优秀产品的公司往往不愿被并购，会使用各种手段提高并购成本，而并购成本较低的公司又不具备好的技术

与产品；另一方面，在并购发生后，双方可能由于公司文化上的差异难以磨合，无法产生良好的协同效应。

6.2.2 初创企业具有更大的创新动力与更小的机会成本

与成熟企业不同的是，初创企业还未形成稳定的客户群体与进入壁垒。因此，企业为了打开市场、避开竞争对手的优势区间，往往需要采取差异化的竞争策略，这使得初创企业更有创新的动力。另一方面，初创企业的生产体系、管理架构与经营框架尚不完善，不会因为进行创新而发生重大变更，因此初创企业进行创新的机会成本更小。

以北京梦之墨科技有限公司、云南靖创液态金属热控技术公司为代表的一众液态金属企业利用小而灵活的优势，针对已有产品的痛点，开发出液态金属电子电路打印机、应用于个人电脑的液态金属散热器等具有广泛应用场景的杀手级应用。

6.2.3 企业的动量效应会阻碍创新

综合以上两点，本文认为企业的动量效应会阻碍企业的创新。

动量效应是由 Jegadeesh 和 Titman 提出的一种概念，指股票的收益率会延续过去的收益率变化方向[39]。参考这一思想，本文认为企业的发展同样具有动量效应，即倾向于沿过去的方向继续发展，而创新作为一种改变企业发展方向与发展速度的活动会面临较大阻碍。如下通过公式推导具体说明这一理论。

根据经典力学中的牛顿第二定律有：

$$F = ma \tag{1}$$

其中，F表示作用于物体的力的大小，m表示被作用物体的质量，a表示物体的加速度。这一公式表明：力的大小与方向由被作用物体的质量与其运动的加速度决定。

根据动量公式有：

$$P = mv \tag{2}$$

其中，P表示运动物体的作用效果，m表示运动物体的质量，v表示物体的速度。这一公式表明：动量的大小与方向由被作用物体的质量与其运动的速度决定。

从企业发展的角度来看，动量P代表企业的发展状况，质量m代表企业的规模，速度v代表企业的发展速度。对于一个正在朝某一方向发展的企业来说，创新既改变了发展速度的大小又改变了发展方向，因此企业的发展速度由v变为v'，其变化幅度为$\triangle v = v' - v$。对于同一企业来说，破坏性创新在方向与力度上都更加有悖于企业原先的发展轨迹，因此进行破坏性创新的$\triangle v$大于进行小幅度创新的企业的$\triangle v$。

结合力与动量的计算公式可推出两者之间有如下关系：

$$F = \frac{mv' - mv}{t} = \frac{m \cdot \Delta v}{t} \tag{3}$$

这一公式表明，运动物体动量的变化与作用力和作用时间有关。而对于企业来说，想要通过创新改变企业的发展状况（改变动量P）需要花费时间（t）与力F。

结合这一经典公式与上文分析，本文提出如下公式：

$$F_{innovate} = \frac{Sv' - Sv}{t} = \frac{S \cdot \Delta v}{t} \tag{4}$$

其中，$F_{innovate}$表示企业进行创新需要克服的阻力，S表示企业的规模，v表示企业的发展速度，t表示企业改变发展状况需要的时间。其中，企业规模S可以由企业的员工人数、收入规模、用户人数、建筑占地面积等因素衡量，企业的发展速度v与企业所处的发展阶段、收入或利润的增速等因素有关。从公式 4 可以看出，企业的规模越大、向某一方向的发展速度越快，想要改变其发展方向与发展速度就越难，创新面临的阻力与花费的时间就越长。

综上所述（如图 4 所示），可以得出以下结论：1. 破坏性创新相较于小幅度创新会面临更大的阻力；2. 破坏性创新更可能出现在规模较小、发展速度较慢的初创企业上。开发出创新应用的液态金属企业均为中小型初创企业这一事实也佐证了这一观点。所以从这种意义上讲，有志于培育变革性产业的国家和地区不必仅将关注点放在炙手可热的传统中心和企业上。

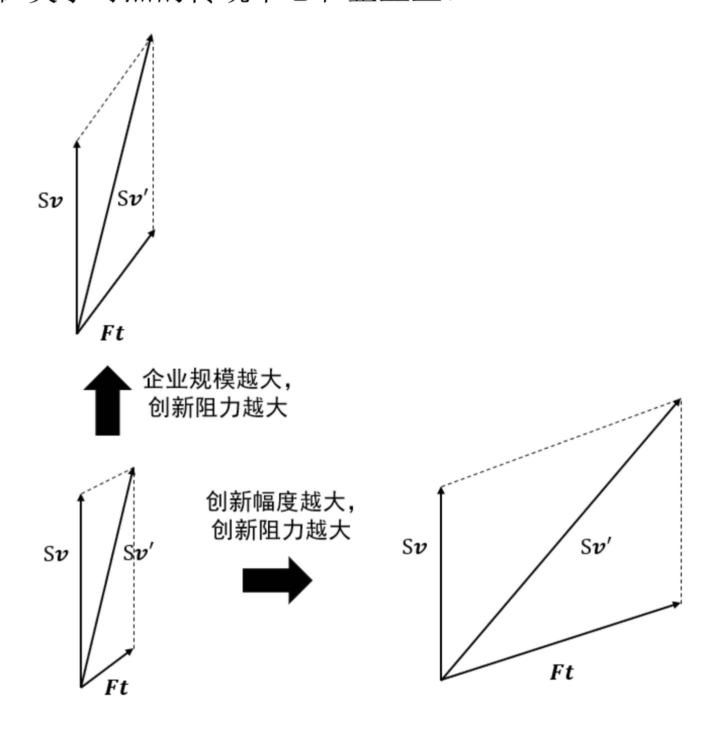


图 4 创新阻力的影响因素

6.3 液态金属企业的发展过程

6.3.1 企业发展过程具有 S 型曲线的性质

根据上文分析可以看出，无论是企业自身的生命周期（忽略衰退期）还是企业的动量效应都具有 S 型曲线的性质。因此本小节通过分析 S 型曲线的函数特征，对这些性质进行阐释，试图提出一种用于描述液态金属企业发展过程的方法。

首先，对 Sigmoid 曲线进行简要介绍。这类曲线是所有 S 型曲线中最广为人知的一种，其函数表达式为：

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \tag{5}$$

Sigmoid 函数的导数为：

$$\sigma(x)' = \frac{e^{-x}}{(1+e^{-x})^2} = \sigma(x)(1-\sigma(x)) \tag{6}$$

如图 5 所示，Sigmoid 曲线性质主要体现为：1. 取值范围为(0,1)；2. 关于点(0,1/2)中心对称；3. 函数值变化率由慢到快再到慢，且关于 y 轴对称。从中可以看出，在不考虑企业衰退期的情况下，Sigmoid 曲线已经可以部分描述液态金属企业发展的一些特点：企业在创建初期存在成果尚未转化、生产线尚未完成建设等状况，发展较为缓慢，对应 Sigmoid 曲线的前 1/3 部分；在经过一定时间的积累后，企业发展速度明显提升，对应 Sigmoid 曲线中间 1/3 部分；随着规模的扩张，企业的产出逐渐稳定，发展速度随之放缓，对应 Sigmoid 曲线的后 1/3 部分。

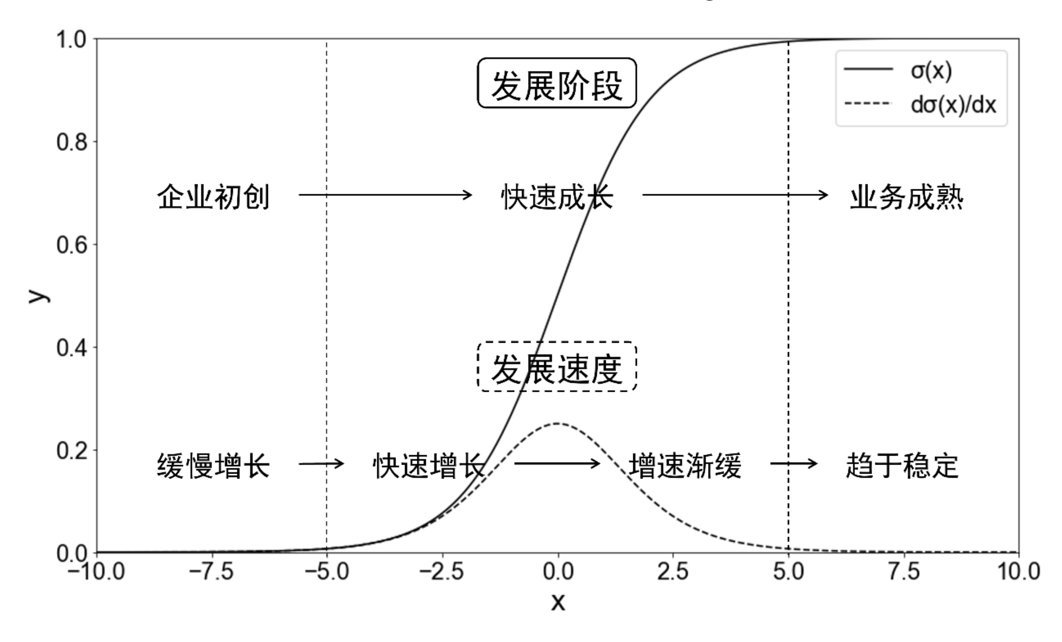


图 5 Sigmoid 曲线

然而，受取值范围等因素的限制，还需要更具普适性的函数来描述企业的发展轨迹。在 Sigmoid 函数中加入更多参数可以得到 S 型曲线的函数表达式：

$$S(x)=A+\frac{B}{1+e^{-(ax+b)}}=A+B\cdot\sigma(ax+b) \tag{7}$$

其中，A表示曲线在 y 轴方向上的平移，B表示曲线在 y 轴方向上的伸缩，b表示曲线在 x 轴方向上的平移，a表示曲线在 x 轴方向上的伸缩。如下图 6 所示，当A,B,a,b取不同值时曲线具有不同形状。

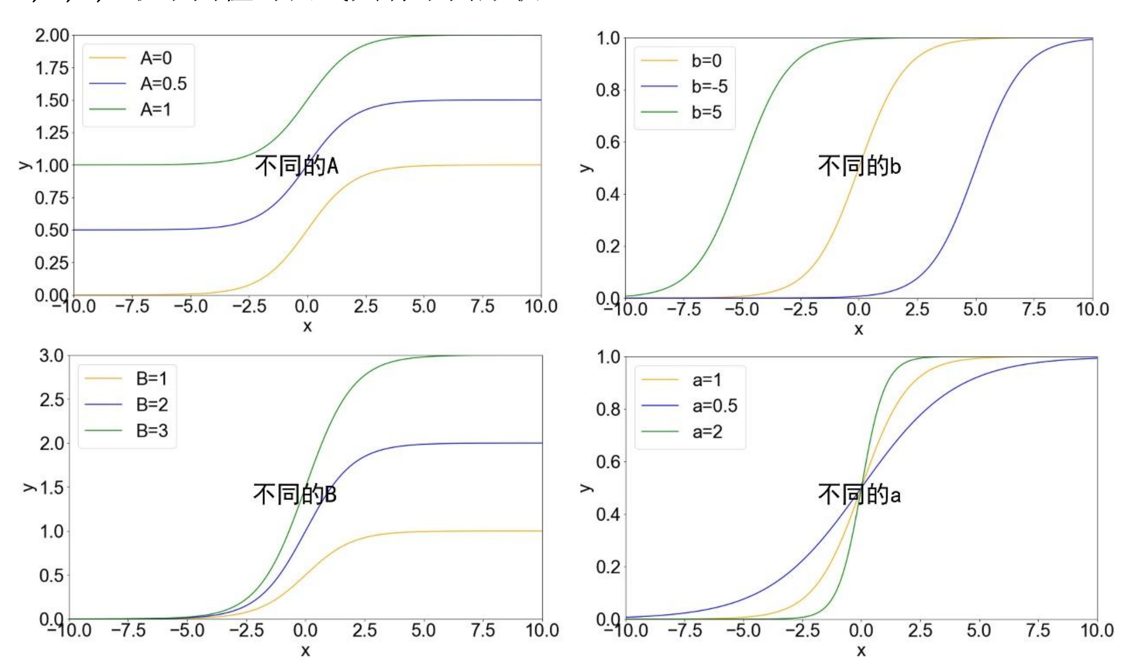


图 6 S 型曲线的各种形状

因此，加入A,B,a,b四个参数后，S 型曲线所受的限制因素更少，可以用来描述更多状况。

S 型曲线的导数为

$$S(x)'=B\cdot a\cdot\frac{e^{-(ax+b)}}{(1+e^{-(ax+b)})^2}=B\cdot a\cdot\sigma(ax+b)(1-\sigma(ax+b)) \tag{8}$$

由图 7 可见，S 型曲线的导数与 Sigmoid 的导数具有相似的数值变化轨迹并具有更大的灵活性，更适合用来描述企业的发展状况。

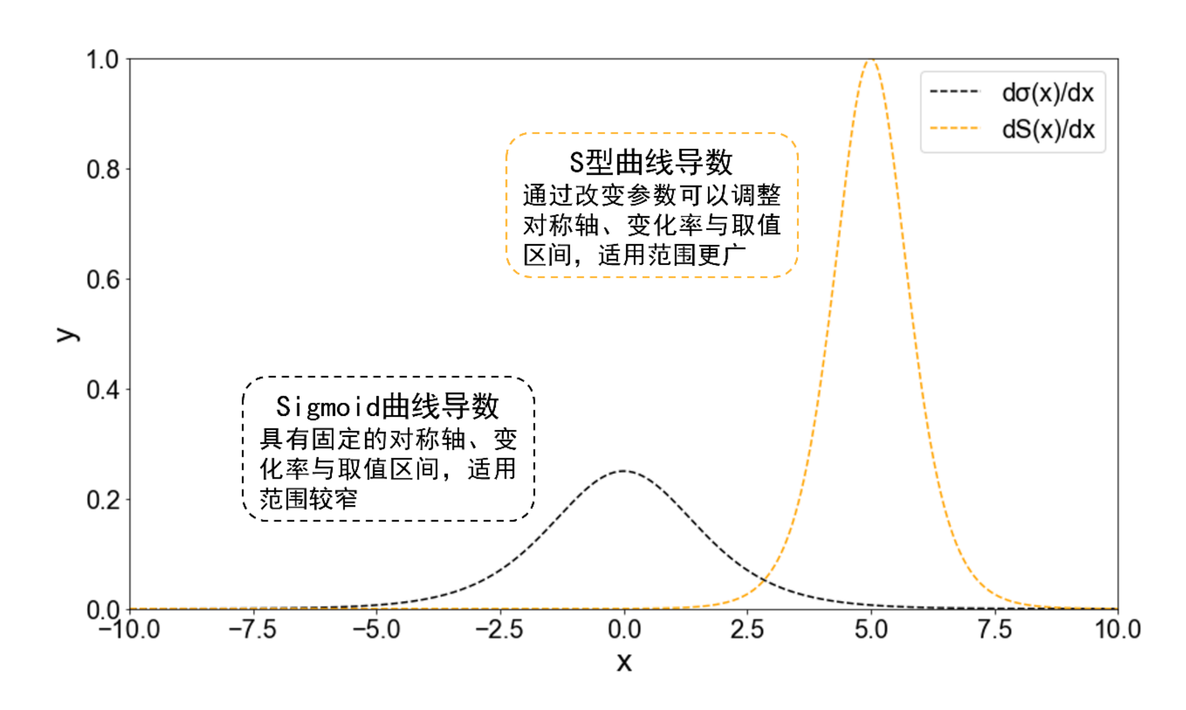


图 7 Sigmoid 函数与 S 型曲线的导数

6.3.2 一种用于描述企业发展过程的方法

为了符合经济意义，在将 S 型曲线应用于实际的液态金属产业发展前需要先确定$x, S(x)$两个变量和A, B, a, b四个参数的取值范围：

x代表企业的发展时长，因此$x \geq 0$。

$S(x)$代表企业的发展状况。

当x取值较小时，$S(x) \approx A$。A代表企业的发展起点，因此$A \geq 0$。当x取值较大时，$S(x) \approx A + B$。B影响企业的发展上限与发展速度，因此$B \geq 0$。a影响 S 型曲线中间部分的斜率，代表企业由初创期过渡到成熟期的速度，因此$a \geq 0$。b影响 S 型曲线的水平位置，b越小 S 型曲线越靠右侧。为保证 S 型曲线主要位于坐标轴第一象限，$b \leq 0$。

结合前文的定性分析与各个变量、参数的取值范围，公式(7)具有如下经济意义：

① b代表企业进入产业的时间。将产业初步形成的时刻定为 0 时刻，对此时进入产业的初创企业有$b = b_0$（非初创企业经过了一段时间的发展，其 S 型曲线位于初创企业左侧，因此$b > b_0$）。对此后t时刻（$t > 0$）进入的初创企业有$b = b_t < b_0$。

② 企业的初始状态A与企业的资金量、技术、人力资源等因素有关。在确定$b = b_t$（b_t为较小负值）后，根据$S(x)$的函数表达式，在企业的初创时期有$x = 0$，$S(x) \approx A$；在企业经过长时间发展进入成熟期后，$S(x) \approx A + B$。因此，较高的起点只能保障企业的下限而无法完全决定企业的发展上限。

③ B取决于企业对各类资源的运用能力，包括：获取资金的能力、研发及成果转化能力、管理能力、生产经营能力等。根据$S(x)$和$S(x)'$的函数表达式，企业运用资源的能力影响了企业的发展速度与发展上限。

④ a仅影响企业的发展速度而不影响企业的发展上限，因此更可能取决于环境因素，包括：政策影响、产业集群化程度、创新网络复杂度等。

⑤ S 型曲线同样满足前文中提出的推论，即初创企业的创新阻力远小于成熟企业。

结合上述分析可以看出，S 型曲线可以部分描述企业的发展轨迹。然而对于一个企业来说，A,B,a三个参数往往是随时间改变而变化的，因此这一模型还有待改进。

6.4 液态金属企业间的关系形成过程

除产业中个体的发展状况外，液态金属新兴科技产业的演化过程还取决于企业之间的关系形成过程。在这一方面，以图论为基础的网络理论是解释关系形成过程的重要工具。根据网络理论，各个企业之间存在的交互关系会构成一个关系网络。从关系网络中可以推理出企业的重要程度、企业所处的上下游位置、企业间的竞争合作关系等相关信息。因此，研究关系网络的演化机制对于理解产业演化的过程具有重大意义。但是，企业之间可能会出于不同的目的进行交互，若同时考虑所有影响因素则会导致关系网络变得过于复杂且冗余，所以本文在构建关系网络时仅考虑企业创新能力等几个关键因素。

如下对液态金属新兴科技产业中普遍存在的关系形成过程进行分析，为下文说明液态金属产业集群网络的演化过程做出铺垫。

6.4.1 液态金属领域创新影响关系形成

根据张路蓬等的研究[40]，基于创新的关系形成过程分为以下三个阶段：1. 出现节点企业；2. 内部与外部企业之间根据企业技术创新能力与领域相似性进行择优连接；3. 随着知识与技术逐渐在网络中扩散，新的知识技术被不断孵化，关系网络扩大速度逐渐放缓，规模趋于稳定。

具体而言，在液态金属创新网络出现节点企业后，其余企业会以节点企业的创新能力和两者之间的技术领域相似性作为判断标准，以一定概率与其发生交互。产业中的原有企业创新能力越强、与进入产业的新企业之间的技术领域相似度越大，两者之间就越有可能产生合作[40]。实证结果显示：创新网络在形成初期，具有较强技术创新能力的主体较少，缺乏技术合作伙伴、产业链不完善、创新价值未被认知等原因导致新进入的企业数量和企业间的交互关系较少；随着产业价值得到认可，新企业大量涌入，交互关系随之增加；当交互关系达到一定数量后，新进入的企业和企业间新出现的交互关系数量逐渐减少[40]。因此，基于创新的关

系形成过程（如图 8 所示）可以概括为：出现节点企业——择优连接——交互关系数量稳定。

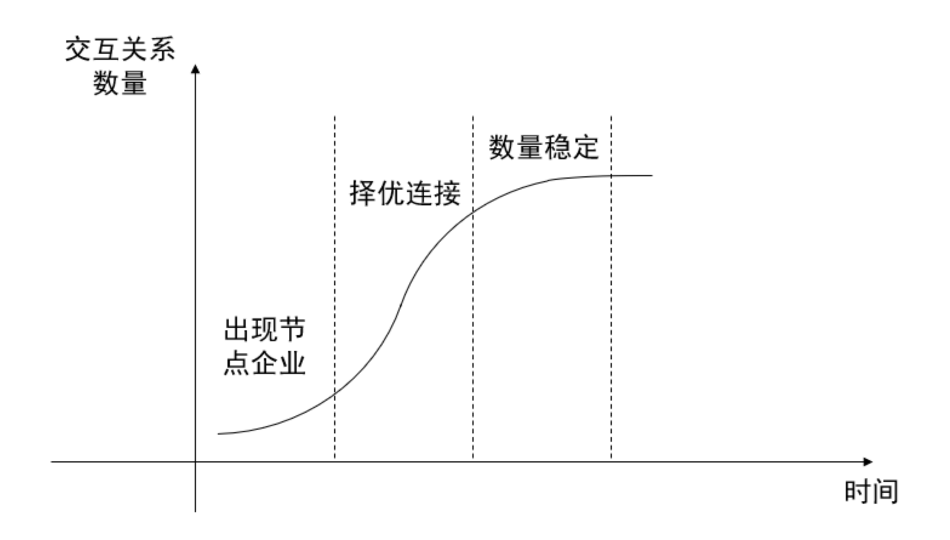


图 8 基于创新的关系形成过程

6.4.2 关系形成的其他影响因素

除创新因素外，以下因素也会对液态金属企业之间建立关系产生影响。

a）外部环境

外部环境的好坏主要受宏观政策、地方政策、产业集群的完成程度等因素的影响。由于增量型液态金属新兴科技企业一般为初创企业，知名度较低，企业想要寻找合作伙伴需要依靠政府政策与中介机构的帮助。因此，外部环境对企业间能否顺利建立关系具有重大影响。本文认为：外部环境越好，企业间建立关系的概率越大。

b）企业间的互补性

液态金属企业间的互补性主要指两个企业各自主营业务给对方主营业务带来的收益程度。一般而言，两企业间的互补性与纵向距离有关，纵向距离为两企业所处的上下游产业链位置之间的距离。当纵向距离较近时，两企业处于产业链上的同一环节，彼此之间的交集较少甚至存在替代关系；当纵向距离适中时，两企业具有前后相邻的关系，业务形成互补；当纵向距离较大时，两企业不直接发生联系。因此本文认为：企业间的纵向距离与企业间的互补性成倒 U 型关系，且企业间的互补性越强，建立关系的概率越大。

c）企业的发展情况

液态金属企业发展情况好一方面说明其生产能力、研发能力、经营能力较强，

与这样的企业合作能更好的产生协同效应；另一方面这样的企业具有较高的品牌知名度，有利于减少信息不对称。因此，企业的发展情况越好，企业间建立关系的概率越大。

6.4.3 液态金属企业间关系的形成机制

a）引力定理

引力定理指出，任何两个物体之间都存在相互吸引力，计算这种吸引力的公式为：

$$F_1 = F_2 = G \times \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \tag{9}$$

其中，F_1和F_2分别表示两个物体受到的引力，G为引力常数，m_1和m_2分别表示两个物体的质量，r表示两个物体之间的距离。这一公式表明，两个物体各自受到大小相同、方向相反的引力作用，引力的大小与两者质量成正比、与两者之间的距离成反比。

b）关系建立过程中的引力定理

借鉴引力定理的思路并结合前两小节的分析，本文认为企业之间同样存在一种引力，引力的大小决定两者能否建立关系。因此，本文提出如下公式：

$$F_{ij} = E \times \frac{S_i \cdot S_j}{(w_1 \cdot r_c + w_2 \cdot r_d)^2} \times (a \cdot D^2 + b \cdot D + c) \tag{10}$$

其中，F_{ij}表示企业i和企业j之间的引力大小，E表示环境因素，S_i表示企业i的发展情况，r_c与r_d分别为企业之间的认知距离与地理距离，w_1和w_2分别为认知距离与地理距离的权重系数，D为企业间的纵向距离，a, b, c是与纵向距离有关的参数。

以下几点需要进行说明：

① 企业的发展情况S_i可用公式(7)求出。

② 企业的发展情况S_i与企业间的引力大小F_{ij}同样受到外部环境的影响，但前者的影响因素主要是政策优惠、集群中知识的富集程度等，而后者的影响因素主要是政府、中介机构的牵线搭桥作用，两类环境因素并不相同。

③ 认知距离r_c受到前文所述的领域相似性影响，即两企业间的领域相似性越强，认知距离越小；地理距离r_d指两企业在空间上的距离。

④ 企业间的纵向距离和互补性成二次关系，互补性与企业建立关系的概率成正相关。为了保证企业间的纵向距离与企业建立关系的概率之间具有倒 U 型关系，使用二次方程$a \cdot D^2 + b \cdot D + c$对其进行简要描述，其中$a < 0, c > 0$。为确保$F_{ij}$始终大于 0，D 的取值范围为$[0, \frac{-b+\sqrt{b^2-4a \cdot c}}{2a})$。当$D = \frac{-b}{2a}$时，企业间互补性

最大，为$\frac{-b^2}{4a}+c$。如图 9 所示，企业间的互补性随企业纵向距离的增加先上升再下降。

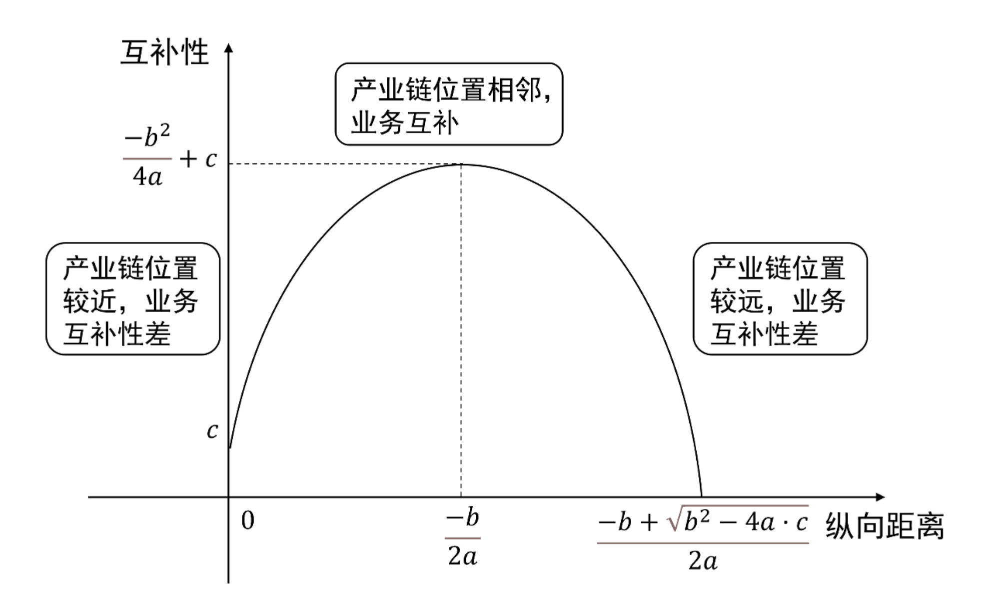


图 9 纵向距离与互补性

结合上述分析可以看出，公式(10)较好地描述了前文分析的内容，即促成液态金属企业建立关系的引力与外部环境、企业发展状况（包括企业创新能力）正相关，与认知距离和地理距离负相关，与企业间的互补性成倒 U 型关系。

企业更可能和吸引力大的企业建立关系，因此对于企业i来说，其与另一企业j建立关系的概率P_{ij}为：

$$P_{ij}=\frac{F_{ij}}{\sum_k F_{ik}} \tag{11}$$

其中，k表示产业中企业i以外其余企业的集合。

6.4.4 液态金属产业发展中的同质化问题

在液态金属领域的少数早期企业彼此通过一系列互动行为初步建立关系网络后，不可避免地要面临与新进企业竞争的问题。原有企业与新进异质化企业能通过良性竞争和业务合作等方式推动产品升级，促进产业快速发展；但新进同质化企业则会采取价格战等恶性竞争手段抢占市场，同时由于业务相似度较高，原有企业与新进同质化企业也很难进行合作，因此过多的同质化企业会使企业彼此间发生内耗，进而阻碍产业发展。

基于以上分析，如下将探讨两个基本问题：1. 当液态金属新兴科技产业中出现节点企业后，后续进入的新企业是否为同质化企业；2. 新进企业的数量如何变化。

a）新进企业的同质化问题

同质化指不同品牌的产品在外观、性能、用户体验等方面相似度较高，彼此之间具有较强的替代性。考察不同企业是否存在同质化现象可以从纵向、横向两个维度进行评估。在纵向维度上，企业所处的产业链位置是否有重叠决定了企业的同质性：处于产业链不同环节的企业，生产的产品一般存在互补关系，企业更可能是非同质化的；处于产业链相同环节的企业，生产的产品一般存在替代关系，企业更可能是同质化的。在横向维度上，相互间存在竞争关系的企业采取的竞争方式决定企业的同质性：通过技术创新的方式进行市场竞争的企业生产的产品一般更难以被替代，企业更可能是非同质化的；通过打价格战的方式进行市场竞争的企业生产的产品可替代性较强，企业更可能是同质化的。

从纵向维度和横向维度来看，液态金属新兴科技产业主要具有以下几个特点：1. 产业链尚不完善，对上下游企业的需求较大，新企业的进入一般出于弥补需求的目的；2. 产业的技术专业性较强、门槛较高，企业更难以通过价格战的方式进行竞争；3. 新的技术体系具有较大发展空间，给新进企业留有更多的探索方向，促使新进企业通过技术创新而非价格战的方式进行竞争。

由此可见，新兴科技产业尤其是增量型新兴科技产业的新进企业，更多是非同质化的。

b）新进企业的数量变化

根据前文内容，液态金属产业的新进企业的数量与新兴科技产业发展阶段有关：在第一阶段，产业中仅有少数几个节点企业，产业价值尚未显现，新进企业数量较有限；在第二阶段，产业价值逐渐被外界所认知，新技术的价值与完善产业链的需求吸引外部企业和投资进入，技术的不断扩展让产业从内部孵化出新企业，新进企业数量成指数增长；在第三阶段，产业链与技术体系逐渐完善，产业趋于成熟，新进企业数量减少。

在现实中，新能源汽车产业的发展情况能够佐证上述分析。由于企业数据难以获得，因此这里以相关领域专利引用数量代替新进企业数量，对数量变化的情况进行简要说明。如图 10 所示为累计专利引用数量在 2000 年到 2015 年间的增长幅度，其呈现由小到大再到小的变化趋势，新进企业的数量变化趋势部分具有 S 型曲线的性质。

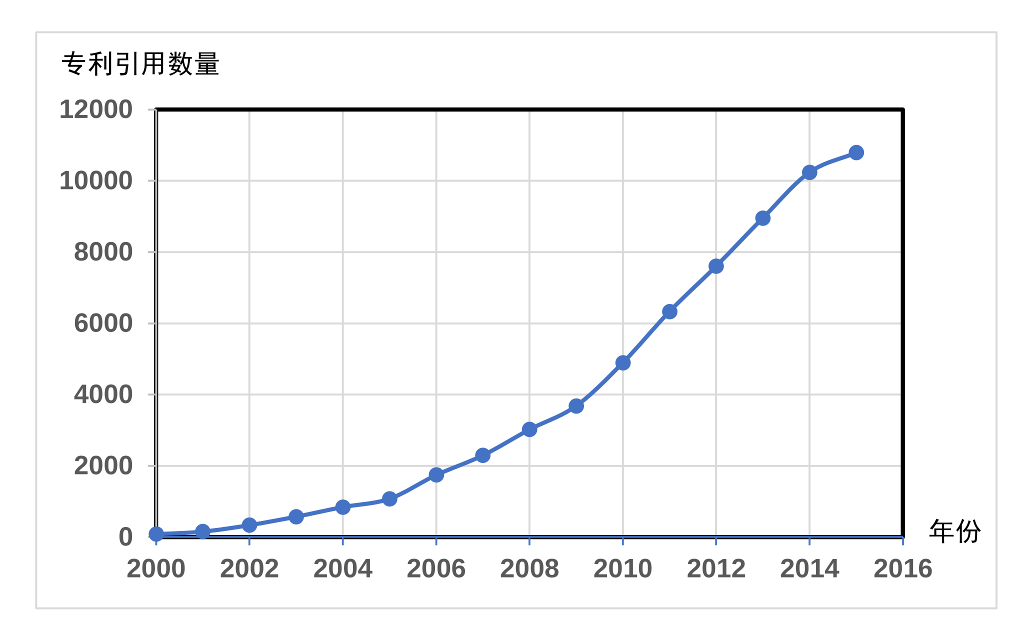


图 10 累计专利引用数量（资料来自文献[40]）

6.5 液态金属产业关系网络的演化

结合对企业发展过程与企业间关系形成过程的分析，如下讨论如何通过关系网络对液态金属产业演化的情况进行把握。

6.5.1 企业重要性的刻画

液态金属企业在关系网络中的重要性衡量了这一企业对产业发展的贡献程度，准确地评价企业的重要性对正确评估产业演化的情况十分重要。具体而言，评价企业重要性的指标主要有以下几种。

a）中介中心度

某一节点（每个节点代表一个企业）的中介中心度 Z 的表达式如下：

$$Z(betweeneness\ \ centrality_i) = \sum_{i\neq j,k\notin\{i,j\}} \frac{P_k(ij)/P(ij)}{(n-1)(n-2)/2} \tag{12}$$

其中，$P_k(ij)$表示i,j两个节点之间的所有最短路径（最短路径指连通两个节点时经过节点数最少的路径）中通过目标节点k的路径个数，$P(ij)$表示i,j节点之最短路径的条数，n表示网络中节点的个数，$(n-1)(n-2)/2$表示网络中除目标节点外其它任意两个节点能组成的无序对的个数。

如图 11 所示，假设某一关系网络包含 7 个节点，且具有图中的位置分布。则节点 4 的中介中心度为$Z(betweeneness\ \ centrality_4) = 9 \times \frac{1/1}{(7-1)(7-2)/2} = 0.6$。

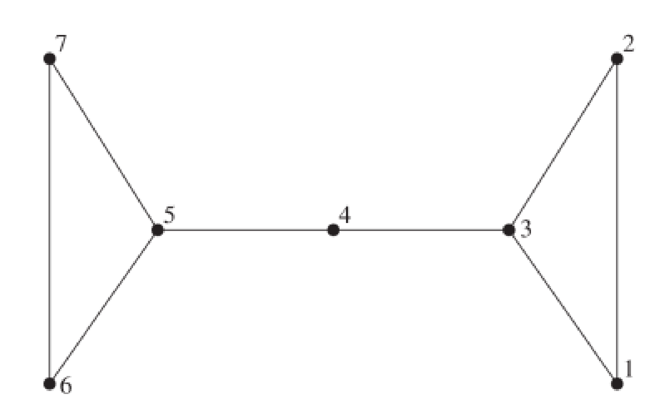


图 11 关系网络示意

中介中心度表示网络中任意两节点连接时通过目标节点的概率。对于新兴科技产业来说，较高的中介中心度往往意味着企业处于产业链中较重要的位置，其余企业必须通过这一节点进行产生联系。在液态金属新产业中，明显看到目前作为龙头企业的云南中宣液态金属公司正是处于这一中心。

b）紧密中心度

某一节点的紧密中心度 S 的表达式如下：

$$\mathrm{S}(closeness\ \ centrality_i) = \frac{n-1}{\sum_{j\neq i} l(i,j)} \tag{13}$$

其中，n表示网络中节点的个数，$l(i,j)$表示目标节点i与另一节点j的最短距离。在图 11 中，节点 4 的紧密中心度为$\mathrm{S}(closeness\ \ centrality_4) = \frac{(7-1)}{(2+2+1+2+2+1)} =$ 0.6。

紧密中心度是目标节点与其他节点平均距离的倒数，用于衡量该节点与其他节点之间的紧密程度，紧密中心度越大，说明目标节点与其余节点连接越紧密。在新兴科技产业中，较高的紧密中心度往往意味着企业具有重要的技术资源，能够与其他企业建立较紧密的关系。

c）特征向量中心度

某一节点的特征向量中心度的表达式如下：

$$\lambda \boldsymbol{C^e}(\boldsymbol{g}) = \boldsymbol{g}\boldsymbol{C^e}(\boldsymbol{g}) \tag{14}$$

其中，$\boldsymbol{C^e}(\boldsymbol{g})$是表示各个节点特征向量中心度的矩阵，$\boldsymbol{g}$是表示各个节点两两之间是否存在关系的矩阵。以具有 3 个节点的网络为例，特征向量中心度可写为：

$$\lambda\begin{bmatrix} C_1^e(g) \\ C_2^e(g) \\ C_3^e(g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{21} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} C_1^e(g) \\ C_2^e(g) \\ C_3^e(g) \end{bmatrix} \tag{15}$$

其中，g_{ij}表示节点i,j之间是否存在关系（有记作 1，无记作 0，$g_{ii}=0$）。将$C_i^e(g)$设为未知数，通过求矩阵$\boldsymbol{g}$的特征值，可以求出$C_i^e(g)$的具体数值。在求解过程中，取最大λ对应的特征向量作为解，以保证$C_i^e(g)$尽可能大于 0。

特征向量中心度的定义基于一种循环的思想。这种思想认为，对于一个节点来说，它的重要程度与和它相连的节点有关，而对于与它相连的节点来说也是如此。对于新兴科技产业来说，较高的特征向量中心度往往意味着与该企业发生关系的其他企业也具有较高的重要性。

d）重要性指标的改进

上述的几个指标是基于“任意两个节点之间的关系是相同的”这一假设设计的，但现实中情况并非如此。例如，两个大型企业之间建立合作关系显然要比两个小企业建立合作关系对产业的影响更大。因此，可以考虑给企业间的关系加上权重。这种权重与企业之间的引力有关，可用公式(10)计算。

6.5.2 液态金属产业演化的评估

结合前文有关液态金属企业自身发展情况与关系网络形成机制的分析可以看出，无论是企业自身的生命周期（忽略衰退期）还是企业间关系网络的形成过程都具有 S 型的发展轨迹。因此如下通过分析 S 型曲线的函数特征，对液态金属产业演化过程中的一些性质进行阐释，试图提出一种评估方法。

将液态金属产业中各个企业的发展轨迹进行简单的加权求和后，可以得到产业的发展情况，表达式如下：

$$I(x)=\sum_i w_i\cdot S_i=\sum_i w_i\cdot\left(A_i+\frac{B_i}{1+e^{-(a_i x+b_i)}}\right) \tag{16}$$

其中，w_i表示产业中第i个企业的重要性，S_i表示第i个企业的发展状况。企业的重要性可以根据实际需求使用前述介绍的几个指标进行衡量。

假设液态金属产业中共有 4 个企业，对 4 个企业分别使用 S 型曲线模拟其发展轨迹，并进行加权求和，可得图 12。其中，4 条虚线分别代表不同企业，黑色实线代表 4 条 S 型曲线的加权和。可以看出，虽然 4 个企业在进入产业的时间、资源丰富度、运用资源的能力以及受环境因素的影响程度不同，但产业整体的发展均具有 S 型曲线的特点。

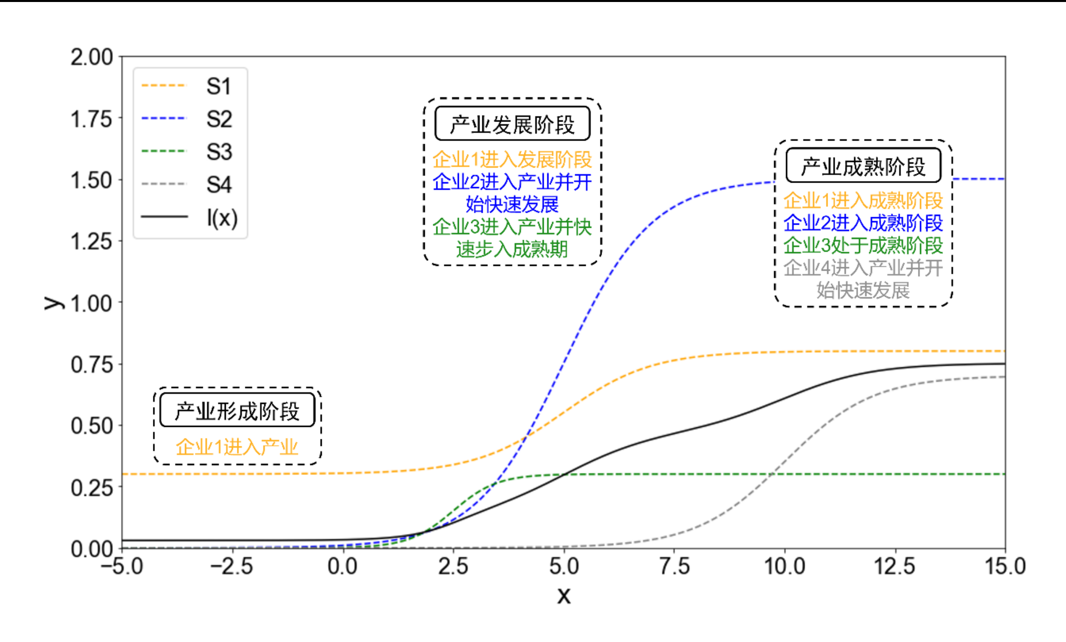


图 12 不同 S 型曲线的组合

本节中提出的方法能够将液态金属企业发展状况、液态金属企业间关系形成过程与液态金属产业演化的性质考虑在内，合理地评估产业演化的情况。

6.5.3 液态金属新兴科技产业演化的一种范式

结合前文分析，本节提出一种液态金属新型科技产业演化的范式。

a）液态金属新兴科技产业形成阶段

在液态金属新兴科技产业演化的最初阶段，由于企业数量与类型过少，这些个体的集合还不能称之为产业。在一定契机下，企业开始受内部与外部两方面需求的影响而形成产业雏形：从内部需求来看，分工协作既能够提升生产效率，又能帮助企业专注于核心业务从而提升专业性，因此企业在扩张到一定程度后会将生产链条中的非核心部分外包出去，承担此类业务的其它企业就形成了产业链的上下游；从外部需求来看，产业外部的主体具有技术需求与创新压力，而产业内部的新兴科技企业则具有技术资源与创新能力，因此，供需匹配机制会促使供需双方基于技术能力认可度与技术领域相似性进行交流合作[40]，从而在多个主体间建立联系，产业初步形成。

此时，产业中的多数企业处于初创期，知识与技术还未在产业中广泛传播。

b）液态金属新兴科技产业扩张阶段

在经历纵向的产业链完善阶段过后，产业开始横向扩张。企业强大的盈利能力与良好的发展前景开始吸引产业外部企业进入并促使有志之士开始创业。在这一阶段，企业间的关系由合作主导转为竞争主导，此时企业主要面临来自两方面的竞争：1. 已有的竞争对手会对比双方的业务规模大小、技术能力强弱等因素，

采取压低成本、技术研发各种手段争夺市场资源；2. 新的进入者会利用后发优势在已有的技术体系上进行创新，与现有企业进行差异化竞争。

此时，产业初步形成时期的原有企业已达到成长期甚至成熟期，但仍有大量初创企业进入产业，知识与技术在产业间广泛传播。

c）液态金属企业孵化阶段

随着上下游产业链的补全与大量外来主体的进入，企业间合作与竞争的交互日益频繁。产业的扩张一方面让企业更容易找到合作伙伴，为企业进行技术突破提供帮助；另一方面，更多的外来竞争者让企业同时面临巨大的竞争压力，迫使企业不断进行科技创新。此外，如前所述，产业集群中存在人力资本流动与知识外溢的现象，这为企业快速持续进步提供了客观条件。因此，企业需要不断进行产品迭代的主观驱动力与人力/知识资源快速流动的客观条件，为新企业的孵化创造了有利环境。其中，新企业主要通过以下几种途径产生：1. 原企业受规模所限难以转型，核心技术人员或管理人员离职创建新企业；2. 原企业在产品迭代的过程中完成技术突破，成立新的子公司用于销售新产品；3. 产业外部企业面临跨行业创新的需求，通过收购产业内企业成立新子公司的方式进入新行业；4. 创业者在已有技术体系上进行创新，并以此为基础创立新企业。此时，产业中的原有企业大多步入成熟期，由于知识与技术已被产业中的个体大致吸收完毕，新企业大量涌现。

7 液态金属科技产业发展中的投资回报与风险问题及应对策略

由于企业的经营活动具有较大的不确定性，因此对于任何投资者而言投资于企业都是一种高回报高风险的活动，准确地评估回报与风险成为投资者必须面对的重要问题。

基于上述分析，如下结合前文所述的内容，通过定性与定量的方法，对液态金属新兴科技产业中的投资者回报与风险进行阐释。

7.1 投资者回报

从公司财务的视角来看，企业的价值应当等同于它为股东创造的价值，即投资者从企业经营活动中获得的回报。但这样的定义是有失偏颇的，例如，一家污染严重的化工企业可能创造了巨额利润，但严重影响附近居民的生活与市容市貌，那么仅仅将创造利润作为企业的经营目标就是不合理的。因此，一种现代的观点是将投资者的定义扩大至与企业存在利益相关关系的所有主体，以追求利益相关者价值总和最大化作为企业经营的目标。

基于上述逻辑，本节将为企业提供人力资源支持的社会也抽象地当作投资者

的一类，从私人投资者与社会两方面分析投资于“增量型”液态金属科技产业带来的回报。

7.1.1 私人投资者

投资于液态金属企业的私人投资者可以从企业与产业两种途径获得回报。

从企业的视角来看，液态金属新兴科技企业具有风险高、发展不确定性强的特点，因此这类企业的私人投资者主要为具备较强风险承受能力、追求高回报的风险投资者。在企业成长过程中，投资者主要通过两个方面获得回报：1. 企业在打开市场后能够利用技术优势获得巨额利润；2. 投资者在企业进入成熟期后可以通过各种方式退出变现，获得的收益往往是投资额的上百倍。

若将视野从单个企业扩大至整个产业，那么新兴科技企业尤其是液态金属增量型科技企业带给私人投资者的回报，将不仅仅是某个企业直接带来的巨额效益，还包括领头企业在带动产业演化过程中创造出的更多投资机会：在液态金属产业形成阶段，由于产业链尚未完善，投资者一方面可以直接投资于上下游企业，另一方面可以将手中的其它资源与被投企业进行整合，为企业提供上游供给或下游销售渠道，助推企业快速发展；在产业扩张阶段，大量液态金属新企业的加入为投资者提供了更多的投资目标；在企业孵化阶段，投资者在前两阶段的发展过程中积累的相关经验，能够帮助其对新技术和新产品做出更准确的判断，从而在控制风险的前提下从新孵化的液态金属企业上获得更高的投资回报。

此外，液态金属增量型新兴科技产业由于行业是全新的，相比于一般意义上的存量型科技产业给投资者提供了更多的投资机会。对于私人投资者来说，好的项目总是少数，因此投资者既要准确地选择可靠的投资对象，又要面临来自同行的竞争。在存量型科技产业的投资过程中，虽然其它地区已经成功的产业实践案例能够帮助投资者更准确地选定投资对象，但投资者会面临更大的同行竞争压力。而在液态金属增量型新兴科技产业的投资过程中，由于没有可供参考的投资案例，能否正确地选择投资对象则更加依赖于投资者的眼光，但随着产业的发展，先前的投资能够给最早进入的投资者提供经验上的先发优势，帮助其在后续对同产业其余企业投资时领先于同行，更容易获得指数增长的投资回报。

7.1.2 社会投资

a）液态金属新兴科技产业能够提升社会福利

对于一个国家或地区来说，高就业率是维持经济增长与社会稳定的关键因素之一，而新兴科技产业能够通过直接与间接的方式促进就业增长。从直接影响来看：一方面，新兴科技产业开创的新产品市场与新商业模式能够增加就业[41]；另一方面，新产业带来的生产力提升能够降低企业生产成本、扩大企业规模，有效

地抵消了其导致的技术性失业与结构性失业[42,43]。从间接影响来看：新兴科技产业能够倒逼传统产业转型升级，从而给传统产业提供就业机会[43]。而且在间接作用的传导渠道中，产业的创新能力起到调节作用[43]。

对于消费者来说，液态金属新兴科技产业创造的新产品能够提高生活质量。例如，应用于个人电脑、游戏机的液态金属散热产品能够显著降低主机运行时的最高温度、提升运算性能，全方位改善用户体验。

b）液态金属新兴科技产业有助于推动社会发展

对于任何投资者来说，被投企业经营失利被迫遭到收购或破产清算往往意味着投资失败。但是对于液态金属新兴科技产业来说，失败的投资仍能给社会带来巨大的价值。本文接下来通过仙童半导体公司的例子说明这一观点。

1957 年成立于美国硅谷的仙童半导体公司（以下简称“仙童”）可以说是未来硅谷一众企业的前身，创始人是八位鼎鼎有名的信息技术领域人才[44]，其中就包括英特尔的创始人诺伊斯和摩尔。仙童半导体公司的第一笔资金来自于仙童照相机与仪器公司的老板同时也是 IBM 股东的谢尔曼·费尔柴尔德。在这 150 万资金的帮助下，公司得以增加员工数量、完善生产线，为日后的生产经营打下了基础。公司初步建成后，在费尔柴尔德的帮助下，八位创始人拿到并出色完成了来自 IBM 的第一笔订单，从此公司的名头正式打响。随后在 1959 年，公司创始人之一的诺伊斯发明了适用于工业生产的集成电路制造方法，这一重大技术突破将公司的规模与利润推至顶峰，使仙童一跃成为世界排名第二的半导体公司。然而，仙童的高速发展让母公司产生了其他想法。母公司老板费尔柴尔德一边低价收购仙童团队的股票一边插手公司业务，并抽调仙童的大量利润用于弥补母公司业务的低迷。双重打击之下，公司包括创始人在内的核心员工纷纷离去。人才的大量流失导致仙童的销售额连年下跌，最终于 1979 年被法国石油企业斯伦贝谢公司收购。然而，仙童虽然就此衰败，但却为硅谷留下了大量的创业火种。八位创始人中的赫尔尼、拉斯特和罗伯茨创办了自动测试设备企业 Teledyne 的前身 Amelco，诺伊斯、摩尔连同仙童的工艺开发专家安迪·格鲁夫创建了 IT 巨头英特尔，仙童的销售主任桑德斯创建了 AMD 等诸如此类。从仙童出走的员工，大约共创办了 92 家公司，总市值高达 21 万亿美元，超过了当时大部分国家的 GDP[44]。与之相对的是，仙童公司在 1979 年第一次被收购后几经转手，最后一次的收购发生于 2016 年，彼时公司的全部市值加起来仅有 24 亿美元，甚至不到英特尔的零头。

对于天使投资人费尔柴尔德来说，这笔 150 万美元的投资算不上完全失败，因为仙童早在公司创立后的 3、4 年内就完成了协议中的条件。但从后来的发展轨迹来看，他的确是错失了一个巨大的投资机会。

虽然与如今鼎鼎有名的芯片巨头英特尔、AMD 相比，仙童并不能算得上一家成功的企业，但它培养出的众多技术与管理人才、研发出的知识资源和传递出的创业精神却帮助美国开启了硅谷时代。作为一家增量型新兴科技企业，它不仅仅开创了芯片产业的先河，还通过硅谷这个创业集群孵化出了诸如微软、PayPal、特斯拉、Facebook 等一系列基于芯片提供的信息处理能力开展其他业务的科技巨头。因此，对于液态金属这样具有高科技含量、广泛应用前景的新兴科技产业来说，投资的回报总是高于成本，而且这种回报可能同时通过人才培养、知识创造与创业精神传递三种途径体现于社会发展当中，甚至通过协同作用对工业文明的升级带来巨大推动。

7.2 液态金属新产业投资没有输家的内在机制

众多对于风险投资的研究已经证明：对于个体投资者而言，投资于初创企业会面对较大风险，若该企业处于新兴产业则风险还会成倍增加。然而，本文试图站在投资者整体的视角提出一种新的理论，即投资于液态金属新兴科技产业没有输家。

7.2.1 投资者风险与企业的产出有关

为证明本节提出的观点，我们首先对投资者中的“输家”进行定义。我们认为，在投资中承担了更高的风险而只能获得更低的回报的投资者被视为“输家”。而企业良好稳定的经营状况意味着更高的回报与更低的风险，且企业的经营状况可以用企业的产出进行衡量。因此我们如下将讨论与投资者相关的产出问题。

企业的产出主要包括三类：产出的产品、产出的创新技术和产出的就业岗位。其中：产品的质量与数量直接决定了企业的盈利能力，具有较强盈利能力的企业能对股东进行大量分红并帮助股东进行快速资本增值；创新性强的企业不仅能给私人投资者创造更多的投资机会，也为社会进步与生活质量的提升打下了基础；经营状况良好的企业能够提供大量就业岗位，有利于社会稳定。因此，私人投资者更多受益于前两种产出，社会更多受益于后两种产出。

然而，企业的经营状况不仅与产出的数量有关，更受到产出有效性的影响。对于创新技术与就业岗位而言，两者的产出量越多必然带来更多的社会福利，因此这两者是有效产出。但企业产出的产品中超出消费者需求的部分会被浪费，过多的产品会造成产出无效化，导致投资者的资金被浪费。

此外，上述的三种产出中的就业岗位并非由企业使用资金直接得到，而是与企业生产产品的情况相关，即企业生产的产品越多，越需要更多的就业岗位。

7.2.2 理论分析

如下对液态金属企业产出予以分析，给出对结论的说明。

首先，为刻画客观事实以及简化分析，我们做出如下假设：

① 企业所有的可用资金均来自于投资者，企业只能用资金进行生产产品或创新（生产创新技术）两种活动；

② 每个企业仅生产一种产品，且若同一产业内所有企业都不进行创新，那么所有企业生产的产品都属于同质化产品；

③ 企业产出的创新技术能够提高企业运用资金生产产品的效率与生产非同质化产品的概率，且这两种关系均为线性正相关关系。

④ 给定相同的资金，企业生产创新技术的数量远低于生产产品的数量；

⑤ 消费者对同质化产品的需求有限，超过消费者需求的同质化产品视为无效产出，所有非同质化产品均视为有效产出；

⑥ 企业产出的产品与创新技术视为直接产出，产出的就业岗位视为间接产出，就业岗位数量与企业有效产出的产品数量成正线性相关。为简化起见，假设同一产业中所有企业产出的就业岗位数量与有效产出的产品数量的相关系数均相同。

如下进行推导。

设某产业i的总投资额为I_i，该产业共包含k个企业，其中企业j的投资额为$I_{ij}(I_{ij} > 0)$，有

$$I_i = \sum_{j=1}^{k} I_{ij} \tag{17}$$

根据假设①，产业i中的企业j其将资金按比例分配给产品生产与创新技术研发，有

$$I_{ij} = a_{ij} \cdot I_{ij} + b_{ij} \cdot I_{ij} \tag{18}$$

其中，$a_{ij} + b_{ij} > 0$且$a_{ij} > 0, b_{ij} > 0$。企业将$a_{ij} \cdot I_{ij}$部分资金用于产品生产，将$b_{ij} \cdot I_{ij}$部分资金用于创新技术研发。

设产业i中企业j的每单位资金可产出m_{ij}单位创新技术$(0 < m_{ij} \ll 1)$。根据假设③，设每单位资金可产出$n_{ij} \cdot (1 + \delta_{ij} \cdot m_{ij} \cdot b_{ij} \cdot I_{ij})$单位产品，其中$m_{ij} \cdot b_{ij} \cdot I_{ij}$表示企业生产出的创新技术数量，$\delta_{ij}$表示企业研发的创新技术对产品生产效率的提升作用$(\delta_{ij} > 0)$，若企业将全部资金用于生产产品，即$b_{ij} \cdot I_{ij} = 0$，则每单位资金可产出$n_{ij}$单位产品。根据假设④，$n_{ij} \gg m_{ij}$。

设产业i中企业j产出的产品与创新技术分别为C_{ij}和T_{ij}，则有

$$C_{ij} = a_{ij} \cdot I_{ij} \cdot n_{ij} \cdot (1 + \delta_{ij} \cdot m_{ij} \cdot b_{ij} \cdot I_{ij}) \tag{19}$$

$$T_{ij} = b_{ij} \cdot I_{ij} \cdot m_{ij} \tag{20}$$

因此，企业j的总直接产出DY_{ij}为

$$DY_{ij} = C_{ij} + T_{ij} = a_{ij} \cdot I_{ij} \cdot n_{ij} \cdot (1 + \delta_{ij} \cdot m_{ij} \cdot b_{ij} \cdot I_{ij}) + b_{ij} \cdot I_{ij} \cdot m_{ij} \tag{21}$$

此外，根据假设③，产业i中企业j的产品是非同质化产品的概率为

$$P_{ij} = d_{ij} \cdot b_{ij} \cdot I_{ij} \cdot m_{ij} \tag{22}$$

其中，$0 \le P_{ij} \le 1$，d_{ij}代表相关系数，是大于等于 0 的常数。根据公式(20)，企业生产出同质化产品数量$C_{ij}{}'$的期望为

$$E\left(C_{ij}{}'\right) = P_{ij} \cdot C_{ij} = d_{ij} \cdot b_{ij} \cdot I_{ij} \cdot m_{ij} \cdot a_{ij} \cdot I_{ij} \cdot n_{ij} \cdot (1 + \delta_{ij} \cdot m_{ij} \cdot b_{ij} \cdot I_{ij}) \tag{23}$$

根据公式(23)，公司产出同质化商品的数量可近似为$(1 - P_{ij}) \cdot C_{ij}$，产出非同质化商品的数量可近似为$P_{ij} \cdot C_{ij}$。

因此，产业i的总直接产出DY_i为

$$DY_i = \sum_{j=1}^{k} DY_{ij} = \sum_{j=1}^{k} a_{ij} \cdot I_{ij} \cdot n_{ij} \cdot (1 + \delta_{ij} \cdot m_{ij} \cdot b_{ij} \cdot I_{ij}) + b_{ij} \cdot I_{ij} \cdot m_{ij} \tag{24}$$

设产业i消费者对同质化产品的总需求为D_i，根据假设⑤，总无效直接产出NY_i为

$$NY_i = max([\sum_{j=1}^{k} \left(1 - P_{ij}\right) \cdot C_{ij}] - D_i, 0) \tag{25}$$

产业i的总有效直接产出EY_i为

$$EY_i = DY_i - NY_i = \sum_{j=1}^{k} DY_{ij} - max([\sum_{j=1}^{k} \left(1 - P_{ij}\right) \cdot C_{ij}] - D_i, 0) \tag{26}$$

产业i产出的就业岗位数量J_i为

$$J_i = \theta_i \cdot EY_i \tag{27}$$

其中，$0 < \theta_i$，表示有效产出创造就业岗位的比例系数。

产业i的总有效产出Y_i为

$$Y_i = EY_i + J_i = (1 + \theta_i) \cdot EY_i$$

$$= (1 + \theta_i) \cdot [\sum_{j=1}^{k} DY_{ij} - max([\sum_{j=1}^{k} \left(1 - P_{ij}\right) \cdot C_{ij}] - D_i, 0)] \tag{28}$$

如下将根据上述的推导通过一个例子对本节给出的结论进行说明。

根据上文分析可知，全体投资者（私人投资者与社会）的投资回报与风险和产业总有效产出有关，即产业i的总有效产出Y_i越大则投资越成功。

如下将根据上述的推导通过一个模拟的例子说明“投资于液态金属新兴科技产业没有输家”的结论。

设共有 3 个产业($i=1,2,3$)，分别代表传统产业、存量型科技产业、液态金属新兴科技产业，每个产业获得的总投资额相同，且都为 100，即

$$I_1=I_2=I_3=100 \tag{29}$$

假设各个产业中均存在 5 个企业，每个企业获得的投资额均为 20，各个企业根据产业特点将资金分配与产品生产与创新技术生产。根据前文分析可知，科技属性越强的企业在研发上投入的资金比例越多，因此有$b_1<b_2<b_3$。分别按照均值为 5%、15%、30%，方差为 0.1、0.1、0.1 的正态分布各抽取 5 个取值范围在[0,1]区间的随机数作为 15 家企业分配给研发的资金比例。具体数值表 1 所示。

表 1 各企业的研发资金分配比例

	产业 1：传统产业	产业 2：存量型新兴科技产业	产业 3：液态金属产业
企业 1	5.38%	16.94%	31.20%
企业 2	3.72%	13.78%	35.80%
企业 3	18.85%	7.37%	32.56%
企业 4	10.31%	18.57%	23.04%
企业 5	7.52%	14.70%	30.13%

为简化讨论，假设这 15 个企业仅资金分配比例不同，其他条件完全相同。所有影响产业有效产出的参数如表 2 所示。其中，I表示所有企业的可用资金均为 20，n表示 1 单位资金可产出 1000 单位产品，m表示 1 单位资金可产出 1 单位创新技术，δ表示 1 单位创新技术可提升产品生产效率 10%，d表示 1 单位创新技术可将企业 14%的产品变为非同质化产品，D表示每个产业的消费者对该产业的同质化产品需求 50000 单位，θ表示每 1 单位有效直接产出可提供 0.5 个就业岗位。

表 2 相关参数

I	n	m	δ	d	D	θ
20	1000.00	1.00	0.10	0.14	50000.00	0.50

根据表 2 的参数和前述公式可得表 3。其中，企业 ij 表示产业 i 中的第 j 个企业，创新技术产出由公式(20)得出，产品产出由公式(19)得出，非同质化概率P由公式(22)得出，同质化/非同质化产品数量由公式(23)得出。

表 3 企业相关计算结果

	创新技术产出	产品资金比例	产品产出	P	非同质化产品	同质化产品
企业 11	1.08	94.62%	20960.22	0.15	3149.89	17810.33

	创新技术产出	产品资金比例	产品产出	*P*	非同质化产品	同质化产品
企业 12	0.74	96.28%	20688.65	0.10	2149.77	18538.88
企业 13	3.77	81.15%	22348.71	0.53	11767.41	10581.30
企业 14	2.06	89.69%	21636.82	0.29	6231.16	15405.65
企业 15	1.50	92.48%	21277.80	0.21	4469.53	16808.27
企业 21	3.39	83.06%	22240.15	0.47	10523.69	11716.46
企业 22	2.76	86.22%	21996.45	0.38	8466.79	13529.66
企业 23	1.47	92.63%	21256.73	0.21	4376.04	16880.70
企业 24	3.71	81.43%	22334.62	0.52	11585.30	10749.32
企业 25	2.94	85.30%	22075.64	0.41	9064.58	13011.06
企业 31	6.24	68.80%	22346.24	0.87	19474.94	2871.30
企业 32	7.16	64.20%	22033.44	1.00	22033.44	0.00
企业 33	6.51	67.44%	22271.46	0.91	20255.06	2016.40
企业 34	4.61	76.96%	22484.65	0.64	14471.04	8013.60
企业 35	6.03	69.87%	22394.83	0.84	18846.43	3548.41

根据表 3 的计算结果与前述公式可得表 4。从表 4 中可知，液态金属产业无效产出较少且在创新技术的加持下总产出更高，因此投资于液态金属产业获得的总有效产出更多。上述分析证明了本节提出的结论：对整体投资者而言，液态金属产业投资没有输家。

表 4 产业相关计算结果

	产业无效产出	产业总有效直接产出	产业就业岗位	产业总有效产出
产业 1	29144.44	77776.91	38888.45	116665.36
产业 2	15887.19	94030.67	47015.33	141046.00
产业 3	0.00	111561.16	55780.58	167341.75

然而，上述分析过程中做了较多假设，现实情况往往更加复杂。在产业生产中，各个企业对资金的分配比例值往往并不服从正态分布，各个企业的资金、资金产品转化效率、研发成本等参数也并不相同且会随着时间而变化。此外，不同企业不同类型的产出对投资者的回报也并非等权重的，例如，企业多产出一项创新技术对社会带来的效用远比多生产一件产品更大，因此用于衡量总有效产出的公式(28)还需进一步改进。

8 液态金属企业投融资模式及策略

8.1 投融资渠道

企业的融资渠道主要分为股权融资与债权融资：股权融资的特点在于不用还本付息，但会丧失部分企业所有权或控制权；债权融资的特点在于需要面对还本付息的压力，但保留完整的所有权。当面临自有资金不足的困境时，企业会根据自身情况选择合适的渠道进行融资。然而，融资是一个双向选择的过程，企业在选择融资渠道的同时，投资者也会根据风险与回报选择恰当的投资对象。在评估风险与回报时，首当其冲的是企业所处的发展阶段。企业的发展阶段大致可分为初创期、成长期、成熟期和衰退期四类，新兴科技产业大多处于前两个发展阶段，具有较高的风险和不确定的投资回报，融资受到很大的限制。

因此，本文基于上述分析，将液态金属新兴科技企业分为初创期科技企业和成长期科技企业，对两类企业各自可能适用的投融资渠道进行简要说明。

8.1.1 液态金属初创期新兴科技企业的投融资渠道

初创期液态金属新兴科技企业具有以下特征：

从经营角度来看，企业已经完成初步的成果转化，生产线尚在建设或建设完成但尚未大规模投入使用，产品已经进入市场推广阶段但仍存在产量小、客户群体不确定、质量参差不齐、售后服务差等问题。企业需要根据销售情况和用户的反馈对生产效率和产品质量进行改进。

从收入角度来看，企业由于尚未找到最合理的生产体系和战略方向，具有投入高、收入少的缺陷，亟需大量的资金支持。

a）风险投资

受制于体量小、面对蓝海市场、经营活动不稳定的特点，风险投资往往是初创期液态金属新兴科技企业最重要甚至是唯一的融资渠道。风险投资者基于高风险高回报的投资理念，对初创期新兴科技企业进行筛选识别、资金支持、运营督导，通过投前选择、投后管理、退出三大环节，在助推企业发展的同时赚取高额的投资回报，实现共赢和协同发展的局面。三个阶段中，风险投资者对企业的关注重点如下所述：

① 投前选择阶段。风险投资者在选择投资对象时会优先关注液态金属企业的人力资本和非人力资本：人力资本主要指创业团队教育背景、管理经验、技术经验、行业经验等[45]；非人力资本主要指企业的产品和服务的市场前景、主营业务的可行性、收入的预期等。此外，风险投资者与企业之间的匹配度也会影响投资决策：首先，风险投资者更愿意投资与自身专业领域、技术能力等方面相似度更高的企业[46]；其次，风险投资者更可能选择与自身资源或技术互补的企业[47]；

另外，风险投资者还可能会考虑对创业团队的信任度[48]、与被投企业的地理距离等因素[49]。

② 投后管理阶段。为了提高获得高额回报的可能性，风险投资者会对液态金属企业的经营活动进行监督与帮助。一方面，初创期企业可能会利用信息不对称侵蚀投资者的利益，或由于急于求成的动机选择高风险的经营战略，因此风险投资者会通过对赌协议或制定激励惩罚措施限制企业的行为，降低投资失败的风险；另一方面，新兴科技企业的创业团队可能以技术人员居多，缺乏经营管理经验与人际关系，风险投资者会帮助初创企业进行战略选择[50]，为企业提供后续轮次的融资协助和管理人员招聘[51]等增值服务，全方位完善企业的运营管理架构，提高企业的绩效表现。

③ 退出阶段。一般而言，风险投资者主要通过被投液态金属企业 IPO（首次公开发行）或被并购的方式获取投资回报，很少会持续参与经营。因此风险投资者在这一阶段更关注企业的盈利能力和市场情况。当被投企业经过一定时间的发展，企业具有一定的规模和盈利能力时，若市场时机合适，风险投资者会倾向于通过 IPO 退出，若市场时机不理想，风险投资者则倾向于通过被并购的方式退出[52]。

总而言之，相较于传统融资方式，风险投资在投前选择阶段能够利用自身的专业知识克服信息不对称，在投后管理阶段能够且愿意付出时间精力为企业提供增值服务，在退出时具有多种变现手段，在初创期新兴科技企业的发展过程中起到领路人的作用。

b）政府投资基金

根据财政部 2015 年出台的《政府投资基金暂行管理办法》，政府投资基金被定义为：由各级政府通过预算安排，以单独出资或与社会资本共同出资设立，采用股权投资等市场化方式，引导社会各类资本投资经济社会发展的重点领域和薄弱环节,支持液态金属相关产业和领域发展的资金。结合政府出台的各类文件来看，政府投资基金主要目标有三：1. 通过向企业注资，直接支持企业发展；2. 通过引导私人资本进入，间接支持企业发展；3. 利用直接与间接方式，在推动企业发展的基础上实现相关产业的政策目标。

与风险投资不同的是，政府投资基金不以获取投资回报为主要目的，而是更加看重液态金属企业的发展潜力以及是否符合政策要求，此外，政府投资基金相对更看重企业的长期发展而不太注重短期的盈利情况。因此，政府投资基金也是初创期新兴科技企业可选的融资渠道之一。

除直接的资金支持外，政策支持也是政府对新兴产业可以充分助推的重要渠道。相较于直接对企业注资，政策支持更多起到锦上添花的作用，政策支持的形

式包括：税收减免、财政补贴、降低市场准入门槛、政府采购、金融支持、土地优惠等。不难看出，政策支持主要目的帮助企业兜住下限，企业想要达到更高的发展上限还需要依靠其他渠道。

8.1.2 液态金属成长期企业的投融资渠道

成长期液态金属新兴科技企业具有以下特征：

从经营角度来看，企业已经完成生产线的建设并大规模投入使用，经营活动逐渐步入正轨，产品已经受到一定认可，具有稳定的客户群体、市场规模不断扩大、产品质量逐步稳定、售后服务体系逐步完善。这一阶段的企业面临着快速扩张带来的一系列问题，包括：组织架构不完善、发展战略不适配、生产成本不稳定等。此外，成长期企业创造的高额利润会吸引大量的模仿者，企业需要搭建自有知识产权体系同时不断对产品进行升级换代，以践行新兴科技产业技术驱动的核心思路。

从收入角度来看，企业此时虽然能够创造一定的收入与利润，但仍需要投入大量资金进行对内稳定与对外扩张工作，具体包括：通过咨询等方式制定与企业当前状况相匹配的发展战略、尝试不同的生产技术以降低成本、招聘新员工以完善组织架构或扩大经营规模、建设新生产线或扩充销售渠道以增加收入等。因此，成长期新兴科技企业仍然需要大量的资金支持，但相较于初创期具有更多可选的融资渠道。

a）IPO

IPO 是成长期液态金属新兴科技企业常常选择的一种融资方式。企业在经过一段时期的扩张，在收入规模、利润等方面达到股市各版块规定的上市要求后可以在二级市场进行股权融资。

采用 IPO 进行融资的好处在于：

① 不用承担还本付息压力。

② 上市门槛逐渐降低。我国政府为鼓励中小企业进行创新，近年来设立了科创板和北交所两大股票交易板块，并在收入、利润等硬性要求之外增加了许多与技术创新相关的软性替代指标，让中小规模新兴科技企业上市成为可能。

③ 融资效果好。我国的股票投资者尤其是散户普遍对上市公司抱有积极的态度，企业往往能达成预定的融资目标。此外，企业一旦上市，后续可以再次在二级市场进行股权融资，给企业提供了更多的选择。

同时，采用 IPO 融资也有一定弊端：

① 融资时间长。随着我国部分上市公司财务问题的暴露，各大交易所对待上市公司的审核变得更加严格。虽然“十四五”规划中提出将股票发行制度由核

准制改为注册制，但这一改变在初期看来仅仅是将交易所的核查工作转移至券商身上，并未实际缩短上市时间，例如，科技企业最常选择的科创板上市时间一般都在 1 年以上。

② 割让部分利益。随着企业盈利能力的上升，企业通过股权融资的资本成本会越来越高，当企业的利润率高于贷款利率一定程度时，采用股权融资会付出更大的代价。因此，对于盈利能力强、信用状况好的企业来说，采用债券融资反而是更好的选择。

③ 丧失部分控制权。二级市场的股票投资者在拥有了一定股权份额后，就拥有了参与股东大会的资格与派驻董事的权利，这会导致企业的决策可能受到外部人员的干扰，进而影响到企业的经营状况。

b）发行债券

除发行股票外，液态金属企业还可以选择发行债券的方式进行融资。由于债券相较于股票具有优先清偿的特点，因此发行债券的门槛相对更低，能够被更多企业采用。

债券融资主要具有以下特点：需要按期还本付息，现金流压力大；偿还债务发生在所得税之前，能够降低企业税务；企业需要通过中介机构发行债券，存在一定价格成本与时间成本。

c）银行贷款

银行贷款是相对稳妥的一种融资方式。但银行在贷款时往往会出于控制风险的考虑要求企业具有稳定的现金流，这点与液态金属新兴科技产业的特性相悖。此外，银行贷款通常需要实物资产抵押，而新兴科技企业最有价值的资产普遍是无形资产，难以达到抵押要求。因此，新兴科技企业一般不易从该渠道获得融资，但这种状况可能随着银行对目标企业认知度的提高而改变。

8.2 液态金属企业投融资模式及案例分析

本节首先基于存量型科技企业与液态金属增量型企业的特点，说明两者在融资渠道选择上的差异，然后通过案例分析具体阐释适合增量型新兴科技企业采取的投融资模式及其合理性。

8.2.1 存量型企业与液态金属增量型企业的差异

a）产业特征差异

从新兴科技产业的特征来看，两者的差异如下：

① 液态金属增量型企业体量小于存量型企业。前者是基于一项原创技术甚

至一整个全新技术领域而创建的企业，创始人团队一般为学术机构中的科研团队，在创业初期团队资金极为有限，且缺乏运营管理经验；另外，企业由于技术门槛的原因也很难吸收新成员加入，无法搭建完整的企业架构。而后者的创始人团队则可能是某大企业的管理人员或技术人员，具有一定的人脉关系，能够在创业初期迅速吸纳人才加入，完善企业架构。

② 液态金属增量型企业相对于存量型企业而言，面对更加不确定的市场。存量型科技企业生产的产品是某种原型的升级版，用户购买时可以参考原产品的体验；液态金属增量型企业生产的产品则没有可参考的对象，用户的信息不对称风险大幅增加，企业更难打开市场。

b）产业发展障碍差异

从新兴科技产业面临的发展障碍来看，两者的差异如下：

① 原材料供应情况存在差异。本国的存量型科技企业在采购时可以从别国的成熟上游原材料供应商进货以降低采购成本，但其他国家可能会出于维持技术领先优势的目的采取保护措施，导致原材料断供。液态金属增量型企业采购时不会受到保护措施的影响，但由于没有成熟的上游原材料供应商，企业将面临更高的采购成本。

② 液态金属增量型企业相对于存量型企业面临更大的人才储备压力。由于前者在技术创新性与邻域专业性上均强于后者，因此更难招聘到适配企业的核心技术人员、管理人员与营销人员。

③ 液态金属增量型企业风险承受能力弱于存量型企业。受制于领域专业性，液态金属增量型企业完全没有其他企业的发展经验可供参考。因此企业从成果转化到打开市场需要经过更长的时间，更可能出现现金流不足的情况，面临更高的破产风险。

结合以上分析可以看出，增量型产业缺乏可供参考的实践经验，受制于人才供给不足、市场不确定等弊病，更难以在产业发展初期快速建成完备的产业集群，无法立即享受到集群化发展模式带来的好处。因此，增量型新兴科技企业相较于存量型新兴科技企业具有更长的初创期，需要在有限的融资渠道外寻求新的投融资模式。

8.2.2 液态金属增量型企业的投融资模式

本节通过具体分析几种投融资模式的优缺点，阐释如何助推增量型新兴科技企业快速发展的问题。

a）科学家自主创业模式

科学家自主创业模式是增量型新兴科技企业最常采用的融资模式之一。此类

模式的具体流程如下：1. 科研团队发明开创性技术；2. 科研团队寻找政府投资基金或风险投资机构进行天使轮融资；3. 投资机构根据专业知识进行投前筛选；4. 科研团队在投资资金帮助下进行技术产品化，随后建立生产线以落实批量生产；5. 投资机构进行投后管理，为企业提供增值服务；6. 企业进行后续轮次融资，引入其他风险投资机构；7. 在各方资金支持下，企业由初创期过渡至成长期，日常经营状况变得稳定，逐渐打开市场，进入快速扩张阶段；8. 在企业规模、盈利能力达到一定程度后，投资机构选择合适时机通过 IPO 或被其它企业收购等方式实现退出，获得投资回报。

案例分析

北京梦之墨科技有限公司（下称“梦之墨公司”）成立于 2014 年，是一家依托于中国科学院理化技术研究所、清华大学等科研力量建立的增量型新兴科技企业，公司围绕其世界首创的液态金属电子增材制造技术开展研究及产业化应用。2017 年，公司首次进行数千万元的天使轮融资，资金来源于由中国科学院国有资产控股的中科创星科技孵化器有限公司。在国有资本的引导下，公司又于 2018、2020、2021 与 2022 年收到后续轮次的数亿元风险投资。在国有资本与私人资本的资金支持下，公司快速发展。在技术创新方面，公司获得授权专利 281 项，已建成液态金属电子印刷领域的知识产权体系。在产品方面，公司聚焦于工业级柔性电子印刷服务平台搭建，已完成柔性电子量产产线的建设，进入批量交付阶段。在服务方面，公司专注于提供创新型工程教育解决方案，已与清华大学、北京大学、哈尔滨工业大学等国内高校达成合作，完成多项系列课程与科技竞赛的设计与举办。在荣誉资质方面，公司于 2020 年入选北京市专精特新企业与高新技术企业，并于 2022 年入库国家级科技型中小企业名单。

在梦之墨公司的发展过程中，国有资本领投、私人风险资本后续跟投的投融资模式起到了极大的支持作用。在天使轮融资阶段，作为国有资本的中科创星与梦之墨公司的创始人团队同样来自中科院，具有一定的专业领域互通性，借此克服了信息不对称风险，在企业最困难的创业初期扮演了“伯乐”的角色。在后续轮次的融资中，国有资本利用信号效应，吸引众多私人风险资本跟投，给企业创造了更大的发展空间。

b）企业跨领域创新模式

企业跨领域创新模式实际是技术并购的一种变体模式。技术并购的定义为：当企业难以通过自主研发的方式提升自身竞争力以占据更大市场时，选择以变更所有权的方式将被并购方的知识技术内部化。技术并购的目标大体分为三类：1. 获取新的知识与技术；2. 提升现有的技术；3. 并购竞争对手的技术以确保自身的技术领先优势。企业跨领域创新模式类似于第一类技术并购但又有所区别，两

者的异同点具体如下：

① 目的相同。企业面临发展停滞的风险，又无法从内部解决，需要从外部获取新的知识技术。技术持有方拥有知识技术但缺乏资金，发展受阻。

② 合作形式不同。有创新需求的企业合伙人以现金出资为主，有资金需求的技术合伙人以技术出资为主，两方合作创设新的企业，以新的技术作为核心驱动助推企业发展。

案例分析

云南中宣液态金属科技有限公司（下称“中宣公司”）是一家依托中国科学院专利技术和云南有色金属资源优势，专注于液态金属导热界面材料与电子材料等的研发、制造与销售为一体的高科技企业。由于先前在化工领域和矿产领域遇到发展瓶颈，中宣公司决定进行跨领域创新，与理化所团队达成合作，于 2013 年创立中宣公司。在原企业的资金支持与理化所团队强大的研发能力驱动下，中宣公司发展迅速，在技术创新、产品销售等方面取得较大成就，成为液态金属领域的龙头领军企业，进而助推了更多企业的形成和发展。

中宣公司的发展建立在原企业跨领域创新的需求之上，这种企业与技术团队合作的投融资模式，在解决企业发展瓶颈之外还达成了技术成果产业化的目的，造就了双赢的局面。纵观中宣公司的发展过程可以看出，这种投融资模式的优点在于：1. 面临发展瓶颈的企业合伙人具有较强的资金实力，能够充分满足增量型新兴科技企业的发展需要；2. 企业合伙人深耕某领域多年，具有较强的专业知识与市场预见能力，能够对新技术进行判断与筛选；3. 企业合伙人具有专业的管理知识与广阔的人际关系，能够给新企业提供众多增值服务。

c）技术收购模式

技术收购模式同样是技术并购的一种变体模式，其与技术并购的不同之处在于并购的出资方由企业变为了风险投资机构。风投机构在技术所有权变更后成立新公司，以新技术作为核心驱动助推公司发展。这种投融资模式的优势在于：

① 技术快速变现。风险投资公司的出资方式主要分为现金与股权两种。对于技术出让方来说，这两种方式可以让其在无需参与公司后续管理的情况下快速获得现金收益或企业的后续分红，实现技术变现的目的。

② 技术筛选。风险投资机构具有丰富的投资经验，见证过很多创业企业的成功与失败，能够较准确地筛选出具有市场潜力的新技术。

③ 资源整合。风险投资机构同时控股多家企业，在完成技术收购后可以将新技术与相关领域的企业进行资源整合，实现优势互补。

d）企业自我造血孵化新技术

这种投融资模式不属于传统的投融资模式，往往出现在增量型新兴科技产业的发展过程中。与传统产业或存量型科技产业相比，增量型新兴科技产业虽然面对着更多的不确定性，但其核心技术的创新性与前沿性同样赋予产业以更大的可能性。这种特性使得增量型新兴科技企业能够仅凭内部研发能力，就能突破技术层面的发展瓶颈，继而结合实际需求孵化出新的技术与产品。

案例分析

云南迈特力医疗技术有限公司（下称“迈特力公司”）成立于 2019 年，是一家脱胎于中宣公司的医疗器械制造企业。经过多年发展，中宣公司结合实际医疗需求，基于液态金属的良好特性与自身研发经验，孵化出液态金属骨科外固定支具这种液态金属领域的新产品。目前，该产品已进入临床阶段，迈特力公司已与多家医院及医疗机构达成合作。

因此，对于投资者来说，对增量型新兴科技产业的投资所带来的回报并不会局限于某一种产品的市场价值，还包括产业在发展过程中不断孵化出的新产品、新企业将创造的价值。可以说，增量型新兴科技产业一旦渡过最困难的初创阶段，将迎来指数级的发展速度。

9 液态金属产业展望

由上文分析可见，液态金属工业发展的道路是曲折的，但前景是光明的，产业培育和投融资之间的协同发展至关重要。如下，我们对液态金属科技产品的当下及未来的应用场景和市场进行讨论。

9.1 消费电子

消费电子指广泛运用于日常生活中的电子产品，包括个人电脑、智能手机、导航设备等。随着信息技术的进步与芯片集成度的提升，智能设备在大众消费者中的普及度越来越高。然而，更高的集成度导致更大的芯片功耗，这使得散热问题成为电子产品性能提升的一大障碍。此外，大数据技术的发展与居民对个人健康的重视程度提高使智能可穿戴设备成为消费者追捧的对象。因此，我们分别基于散热与智能可穿戴设备两类应用场景对液态金属产品的市场潜力进行分析。

9.1.1 液态金属热管理

常温下液态与金属强大的导热性使液态金属在热管理应用上具有巨大的先天优势。该领域的液态金属产品主要包括热界面材料与流体散热器两类：前者用于填补电子元件与散热器之间存在的缝隙，降低材料之间的接触热阻，使散热器的功能得到充分发挥，进而提高芯片的性能；后者是用于大型服务器与个人电脑中对 CPU 进行散热的液冷系统。

相较于传统的硅脂热界面材料和水冷散热器，液态金属产品在性能上实现了巨大突破。在热界面材料方面：液态金属产品具有极高的导热系数，能够高效地进行热量传输；其次，液态金属具有一定流动性，能够充分浸润散热器的表面，大幅降低热阻，保证电子元件正常运行；此外，液态金属能够通过融合其他材料的方法进一步提高导热能力、浸润能力和粘度，具有更强的可扩展性。在散热器方面：液态金属能够迅速传导并扩散电脑产生的热量，在极短的时间将电脑的温度控制到更低的范围，控温效果远优于风冷及水冷散热；其次，液态金属产品在高热流密度条件下仍具有优异的散热性能，能够很好的应对极端散热场景；此外，液态金属沸点高达 2000℃，不会发生蒸发及泄漏情形，适用温区高，系统运行安全可靠，后期维护成本低。

消费电子市场主要分为零部件及组装和品牌消费电子两部分，其中，后者贡献了超过 70%的市场规模。品牌消费电子主要包括便携式电子产品（智能手机、移动硬盘、可穿戴设备等）、车载电子产品（照明系统、导航系统等）、家用电子产品（台式电脑、游戏主机、电视等）。据统计，我国 2020 年消费电子市场的销售额已达到约 1.2 万亿元，品牌消费电子约 0.84 万亿元。

现阶段，液态金属热管理产品主要用于缓解台式电脑、游戏主机等产品的散热压力；在未来，随着电子设备对散热要求的进一步提升，基于液态金属材料的热管理产品将扩展至整个品牌消费电子市场。按热管理系统占总费用 10%的比例计算，液态金属热管理产品在我国甚至可达千亿市场规模。

9.1.2 智能可穿戴设备

智能可穿戴设备是一种日常生活中穿戴在人体上的便携式健康管理设备，其主要通过内置的传感器、芯片等硬件与信息传输、数据模型等软件技术对佩戴者的健康进行监测与管理，是大数据、互联网、物联网等先进技术融合创新的产物。

在我国，慢性病一直是导致死亡的主要原因之一，慢性病的发作恰恰是由于日常生活中对健康管理的疏忽所致。针对个人健康问题，我国居民的消费理念正在逐步变化，人均医疗保健消费支出由 2017 年的 1451 元增长至 2115 元。正是因为瞄准了这一需求，智能可穿戴设备通过为消费者提供完整且便携的解决方案迅速抢占市场，市场规模从 2016 年的 179.2 亿元增长至 2020 年的 632.2 亿元，复合增长率高达 37.8%，成为消费电子赛道的主要增长点之一。

然而，受到佩戴舒适性与设备制造技术的限制，目前的主流智能可穿戴设备无论是消费级还是医用级产品均以智能手表、智能手环为主，但随着需求的增加，目前产品仍然具有极大的进步空间。以智能手表为例：在现有的产品中，传感器等硬件主要集中于手表表盘，表带则主要用于佩戴与装饰，若能将电子元件扩展至表带位置，产品将更好地发挥出健康监测与管理的效果。

面对当下产品的痛点，液态金属柔性电子技术提供了研发支持。相较于传统电子电路，液态金属柔性电子具有更强大的灵活性与延展性。经过合成加工的液态金属具有极强的黏附能力，可在树叶、衣服甚至是皮肤表面上构建电子电路，充分满足客户对设备的形变要求。在液态金属柔性电子技术的加持下，未来的智能可穿戴设备将不仅局限于手表或眼镜，甚至能够扩展到衣服乃至电子皮肤，具有极大的想象空间与发展前景。

9.2 电子电路制造与 3D 打印

室温下的液态金属电子印刷技术是液态金属技术体系里的一大突破。这种技术克服了传统工艺需要模版的缺点，创建了一种“所见即所得”的电子直写模式，给用户提供电路设计与制造一体化的解决方案，为普惠电子制造做出了巨大贡献。同时，对室温下液态金属电子印刷的研究也衍生出了基于液态金属材料的 3D 打印技术，这使得室温下制造金属装置乃至使用金属与非金属材料进行复合打印成为可能，大大降低了电子器件制造的门槛，提升了制造效率。

9.2.1 芯片教育

众做周知，高性能芯片制造是我国亟待攻克的重点难关之一。然而，由于芯片技术在我国起步较晚，国内缺少相关技术的积累，而科技水平的进步又无法一蹴而就。此外，美国总统拜登于 2022 年 8 月签署的《2022 芯片与科技法案》对芯片相关技术与人才流入我国做出限制，进一步影响了我国芯片技术的提升。同时，《2022 芯片与科技法案》也计划向美国从小学到大学中处于各个教育阶段的学生普及微电子学与相关领域的知识，这一举动也将进一步巩固美国在半导体产业的地位。在这种情况下，建设成为世界一流的现代化强国必须从基础教育抓起。

对于这一重要任务，北京梦之墨公司基于液态金属电子电路打印机这一核心产品，为微电子领域的教学提供全套解决方案。该产品以液态金属电子增材制造技术为核心，以系统化工程教育为理念，为学生从电路设计、电路板制作到系统组装调试的全流程项目实践提供先进技术平台，可满足基础教学、工程实践、竞赛培训、创新实践等全方位需求。目前，梦之墨公司已经与哈尔滨工业大学、华中科技大学、国防科技大学等一众高校达成合作。在未来，基于液态金属电子印刷技术的教育方案将扩展至全国的各大高校乃至中小学，具有极其广阔的市场前景。

9.2.2 安全保障

如今，日益进步的电子通信技术使电磁波引起的电磁干扰成为困扰个人乃至国家的一大安全隐患。电磁干扰不仅会干扰或损坏电子设备，造成重要信息的泄

露，还会造成电磁波污染，危害人类健康。因此，进行高效的电磁屏蔽显得尤为重要。然而，传统的电磁屏蔽涂层材料在电导率、屏蔽效能、屏蔽频率范围等方面均存在不足，难以应对日益严重的电磁干扰。对此，梦之墨开发出液态金属电磁屏蔽涂层材料系列产品，在解决原有问题的基础上利用液态金属材料的特性提高了材料的粘附性，使具有大表面积、复杂结构的物体也可以进行电磁屏蔽，为用户提供高效、灵活的解决方案。在未来，5G 技术的完善将为更多的应用场景提出电磁屏蔽的需求，更多的客户预计会成为液态金属电磁屏蔽产品的购买者。

9.3 医疗

这里以液态金属外骨骼为例略作说明。随着我国进入老龄化社会，骨骼问题带来的运动障碍将成为医疗领域的一大重点。对于患有骨骼疾病的患者人群，外骨骼支具在治疗与运动恢复过程中发挥出极为关键的作用。然而，现有的外骨骼固定支具主要包括石膏、金属材质的机械关节等。虽然能够部分满足患者的需求，但存在拆装困难、灵活度低和舒适度差等问题。相较于这些传统产品，液态金属外骨骼固定支具具有热塑型温度低、可进行灵活形变、质量轻、透 X 光等优势，能够较好地解决现存的痛点。如今，云南迈特力医疗技术有限公司研发的液态金属复合材料骨科外固定支具系列产品已完成临床验证，成为多家医院及保健中心的首选产品。在未来，随着技术的进步，液态金属外骨骼产品能够进一步利用材料特性进行生理信号传递，结合电子电路制造技术与信息技术生产出集健康监测、健康管理与运动障碍恢复于一体的智能外骨骼产品，进一步扩展液态金属产品市场。

10 结论

10.1 总结

总的说来，液态金属是一大类导电、导热性能优良且在常温下处于液态的新型金属材料，可应用于先进散热、电子印刷与 3D 打印、生物医学、柔性机器人等核心关键领域，具有极大的应用价值。作为一种增量型新兴科技产业，基于液态金属材料构建的液态金属产业开创了全新的工业体系，其带来的垂直进步为我国当下结构性转型的迫切需求提供了历史性的机遇。然而，液态金属产业虽然从宏观上享受政策支持，但在发展初期却面临着各式各样的阻碍与挑战。因此，本文从工业培育与投融资机制两方面对液态金属产业演化及其面临的投融资问题进行了剖析，得到的结论如下：

① 液态金属行业已初步构建出主体位于云南省的产业集群。其中，初创者通过企业与企业之间、企业与其他主体之间的各种交互行为，以分工协作、外部规模经济及利用区位优势的形式降低了研发和生产成本，并促进了知识外溢与人

力资本的快速流动增值，反过来又推动了产业的快速扩张，形成了产业-企业螺旋式发展。

② 液态金属产业演化体现在企业自身与企业之间两方面关系的形成过程中。在企业方面：由于动量效应会阻碍成熟企业进行创新，因此破坏性创新的诞生往往伴随着初创企业的成立；随后，初创企业在发展过程中会经历初创期、成长期、成熟期和衰退期四个阶段，这种成长轨迹可以用 S 型曲线进行描述。在关系形成过程方面：首先，企业之间的关系形成受创新、外部环境、互补性与发展状况四大因素影响，关系形成的概率可以用一种特殊的引力定理进行衡量；其次，企业重要性可以通过网络理论中的几大指标进行衡量；然后，增量型新兴科技产业的新进企业更多是非同质化的且新进企业的数量变化趋势部分具有 S 型曲线的性质；再次，液态金属产业演化的程度可通过对各个企业的发展轨迹进行加权求和进行评估，且产业演化的轨迹仍部分具有 S 型曲线的性质；最后，我们根据上述分析总结出了液态金属新兴科技产业的一种演化范式。

③ 液态金属产业的投资者分为私人投资者与社会投资两类，在投资回报方面：前者从企业分红和产业增长中获利，后者从社会福利与社会发展中获益。在投资风险方面：我们结合客观事实做出几点假设，并基于此推导出产业有效产出与投资的关系，用以刻画产业的投资风险；随后，我们构建了一个模拟实验，通过对比同样投入下的传统产业、存量型科技产业以及液态金属新兴科技产业的有效产出，阐述了“液态金属新产业投资没有输家”这一机制。

④ 针对初创期和成长期液态金属新兴科技企业的投融资渠道有所不同，前者主要包括风险投资与政府投资基金等，后者主要包括 IPO、企业债券与银行贷款等。由于液态金属增量型企业与存量型企业在产业特征和发展障碍两方面存在差异，因此液态金属增量型企业可以采取科学家自主创业、企业跨领域创新、技术收购和企业自我造血孵化新技术四种模式进行融资。

10.2 理论拓展

我们认为，今后的研究主要可以从以下几方面进行扩展：

① 在企业动量效应方面，企业的规模、发展速度及发展方向没有被明确定义与描述，未来可通过实证研究的方式对此加以完善。

② 在企业发展过程方面，我们使用 S 型曲线对其进行描述。然而，S 型曲线具有中心对称的特点，这要求企业发展速度在向上变化和向下变化过程中具有相同的变化率；且 S 型曲线函数值随自变量的变大而变大，只能用于描述企业生命周期的前三个阶段；S 型曲线存在的局限性同样导致对产业发展的评估存在偏误。未来或可构建一种局限性更小的函数改善目前存在的问题。

③ 在说明“液态金属新产业投资没有输家”这一机制的过程中，我们使用

了模拟实验的方法，未来可使用各个产业的实际数据进行实证研究，从而更加准确地衡量不同产业在投入固定这一前提下的产出效率。

参考文献

[1] 国家行政学院经济学教研部. 中国供给侧结构性改革. 北京：人民出版社，2016.

[2] 财富. 2022 年《财富》世界 500 强排行榜. 原文链接：https://www.fortunechina.com/fortune500/c/2022-08/03/content_415683.htm

[3] 新华网. 习近平指出，既要决胜全面建成小康社会，又要开启全面建设社会主义现代化国家新征程. 原文链接：http://www.xinhuanet.com/politics/19cpcnc/2017-10/18/c_1121820451.htm

[4] 中共二十大会议，《高举中国特色社会主义伟大旗帜，为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗》，2022 年 10 月 22 日

[5] 新华社. 瞭望|液态凭什么硬如钢？告诉你一种神奇的新材料. 原文链接：https://www.sohu.com/a/563824165_267106

[6] Abernathy W J, Utterback J M. Patterns of industrial innovation[J]. Technology Review, 1978 , 80(7): 40-47.

[7] 刘冰，王发明，毛荐其. 基于全球技术链的中国产业升级路径分析[J]. 经济与管理研究，2012（4）：58-63.

[8] 李平. 国际贸易技术扩散与发展中国家的技术创新[J]. 当代亚太, 2005,(5): 33-36.

[9] Wu X, Ma R, Shi Y. How do latecomer firms capture value from disruptive technologies? A secondary business-model innovation perspective[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2010 , 57 (1) : 51-62.

[10] 胡江珊. 技术进步路径对制造业结构升级的影响研究[D]. 辽宁大学, 2022. DOI:10.27209/d.cnki.glniu.2022.000474.

[11] 林毅夫，任若恩. 东亚经济增长模式相关争论的再探讨[J]. 经济研究, 2007, (8): 4-12.

[12] 李宇, 张雁鸣. 大企业情境下企业家精神驱动的创新成长导向研究——以苹果公司为例[J]. 科学学与科学技术管理, 2013, 34(1): 154-163.

[13] 靳迪雅. 基于 DCF 模型的战略性新兴企业投资价值的研究[D]. 武汉：湖北工业大学，2012: 14-16.

[14] Keizer J A, Halman J I M, Song M. From experience: Applying the risk diagnosing methodology[J]. Journal of Product Innovation Management, 2002, 19(3): 213-232.

[15] 彼得·蒂尔，布莱克·马斯特斯著，高玉芳译. 从 0 到 1：开启商业与未来

的秘密[M]. 北京: 中信出版股份有限公司, 2015.
[16] 陈守龙，刘元才编著. 学管理必读的 12 个人[M]. 北京：企业管理出版社, 2007.
[17] 贤集网. 诺贝尔奖得主 Dan Shechtman：技术的最大限制就是材料的缺乏. 原文链接：https://www.xianjichina.com/special/detail_351160.html, 2022.10.30.
[18] 刘静. 液态金属科技与工业的崛起：进展与机遇[J]. 中国工程科学, 2020, 22(5): 93-103.
[19] 刘静，盛磊，邓中山，杨应宝. 液态金属材料产业链. 昆明：云南出版集团，2022.
[20] 邓中山, 刘静. 液态金属先进芯片散热技术. 上海: 上海科学技术出版社, 2020.
[21] 邓中山. 蓬勃发展的液态金属新工业，科学杂志, 2022, 74(2): 31-34.
[22] Deng Y G, Liu J. Design of a practical liquid metal cooling device for heat dissipation of high performance CPUs. ASME Journal of Electronic Packaging, 2010, 132: 31009-31014.
[23] 刘静, 王倩. 液态金属印刷电子学. 上海: 上海科学技术出版社, 2019.
[24] 刘静, 王磊. 液态金属 3D 打印技术: 原理及应用. 上海: 上海科学技术出版社, 2019.
[25] Sheng L, Zhang J, Liu J. Diverse transformation effects of liquid metal among different morphologies. Advanced Materials, 2014, 26: 6036-6042.
[26] 国泰君安证券. “十四五”期间的五大产业政策主线. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1681933583427334818&wfr=spider&for=pc
[27] 广东科技发布. 关于扩大战略性新兴产业投资培育壮大新增长点增长极的指导意见. 发改高技(2020) 1409 号. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1680309512988110767&wfr=spider&for=pc
[28] 工业和信息化部. 《“十四五”促进中小企业发展规划》, 工信部联规(2021) 200 号，2021 年 12 月 17 日
[29] 国务院领导小组办公室. 《提升中小企业竞争力若干措施》, 工信部企业(2021) 169 号, 2021 年 11 月 30 日
[30] 云南省发展改革委会.《云南省新材料产业发展三年行动(2022—2024 年)》, 2022 年 6 月 24 日
[31] 刘静，杨应宝，邓中山.《中国液态金属工业发展战略研究报告：一个全新工业的崛起》，昆明：云南科技出版社，2018.
[32] 迈克尔•波特著，李明轩，邱如美翻译. 《国家竞争优势》，北京：中信出版社，2007.

[33] Weber A. Theory of the Location of Industries. University of Chicago, Chicago, 1909.

[34] Audretsch D B, Feldman M P. R&D spillovers and the geography of innovation and production[J]. American Economic Review, 1996, 86: 630—640.

[35] Roelandt T J A, Den Hertog P. Cluster analysis and cluster-based policy making in OECD countries: an introduction to the theme[J]. Boosting Innovation: The Cluster Approach, 1999, 31: 9-23.

[36] Pigou A C. Alfred Marshall and Current Thought[G]. London: Macmillan, 1953: 16-17.

[37] 迈克尔·波兰尼著. 许泽民译. 个人知识[M]. 贵州人民出版社, 2000, (11): 248-266.

[38] Aggarwal R, Kryscynski D, Singh H. Evaluating venture technical competence in venture capitalist investment decisions[J]. Management Science, 2015, 61 (11): 2685-2706

[39] Jegadeesh N, Titman S. Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency. The Journal of Finance, 1993, 48(1): 65–91.

[40] 张路蓬, 薛澜, 周源, 张笑. 战略性新兴产业创新网络的演化机理分析——基于中国 2000-2015 年新能源汽车产业的实证[J]. 科学学研究, 2018, 36(06): 1027-1035.

[41] Lee N, Clarke S. Do low-skilled workers gain from high-tech employment growth? High-technology multipliers, employment and wages in Britain. Research Policy, 2019, 48 (9): 1-11

[42] Aubert-Tarby C, Escobar O R, Rayna T. The impact of technological change on employment: The case of press digitization. Technological Forecasting and Social Change, 2018, 128: 36-45.

[43] 朱金生, 朱华, 马玎. 新兴产业发展的就业创造与破坏——基于鲶鱼效应视角的实证检验[J]. 中国人口科学, 2022, (1): 59-72.

[44] 史明. 硅谷仙童浮沉录[J]. 创新世界周刊, 2020, (12): 90-93.

[45] Agrawal A. Innovation, growth theory and the role of knowledge spillovers[J]. Innovation Analysis Bulletin, 2002, 4(3): 3—6.

[46] Mason C, Stark M. What do investors look for in a business plan? A comparison of the investment criteria of bankers, venture capitalists and business angels. International Small Business Journal. 2004, 22(3): 227-248.

[47] Dushnitsky G, Lenox M J. When do firms undertake R&D by investing in new ventures？[J]. Strategic Management Journal，2005, 26 (10): 947－965.

[48] Bammens Y and Collewaert V. Trust between entrepreneurs and angel investors exploring positive and negative implications for venture performance assessments[J]. Journal of Management, 2012, 40(7): 851-991.
[49] 黄福广, 彭涛, 邵艳. 地理距离如何影响风险资本对新企业的投资[J]. 南开管理评论, 2014, (6): 83-95.
[50] Park H D, Tzabbar D. Venture capital, CEOs' sources of power, and innovation novelty at different life stages of a new venture. Organization Science, 2016, 27(2): 336-353.
[51] Bottazzi L, Rin M D, Hellmann T. Who are the active investors?: Evidence from venture capital. Journal of Financial Economics, 2008, 89: 488-512.
[52] Ball E, Chiu H H, Smith R. Can VCs time the market? An analysis of exit choice for venture-backed firms[J]. The Review of Financial Studies，2011, 24 (9): 3105-3138.